



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

**Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
División de Ciencias Biológicas
Departamento de Ciencias Ambientales
INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS**

**Efecto de la ejecución de tareas de procesamiento controlado
sobre la detección automática de estímulos auditivos**

TESIS

que para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS DEL COMPORTAMIENTO
(OPCIÓN NEUROCIENCIAS)**

presenta

SARA INÉS HERREÑO GONZÁLEZ

Comité tutelar

Mtro. Sergio Meneses Ortega (Director)

Dra. Julieta Ramos Loyo

Dr. Víctor Manuel Alcaraz Romero

Guadalajara, Jalisco

Mayo de 2005

De forma modesta pero sincera y con mucho cariño, quiero expresar mi reconocimiento a todos los que hicieron posible que, lo que inició como un proyecto, hoy sea una realidad. Especialmente deseo manifestar mi profundo agradecimiento

A mis padres, Segundo y Susana, quienes fueron los primeros en apoyarme incondicionalmente cuando decidí seguir este camino. Por su infinita paciencia, por enseñarme lo que realmente es importante y honrarme con la mejor de las herencias.

A mis hermanos Iván, Adriana y Álvaro, a Claudia y a Diego, me han hecho sentir su cariño y apoyo a pesar de la distancia, les debo el no dejarme claudicar. Gracias también por tenerme al tanto de todo.

A Carolina y a Diana, por brindarme su amistad honesta, por su calidez, por compartir su conocimiento y experiencia de una forma desinteresada, por sus atinados comentarios y observaciones. Gracias por todo lo que me enseñaron (de la vida y del laboratorio).

A todos los profesores del Instituto de Neurociencias, por todas las lecciones que tienen un valor incalculable, por su empeño y dedicación. A la Dra. Julieta Ramos y al Dr. Víctor Alcaraz, por sus comentarios y correcciones. Al Maestro Daniel Zarabozo por sus conversaciones, por su apoyo y paciencia ante mis dudas.

A mi tutor y director de tesis, Maestro Sergio Meneses, por ser un excelente profesor, por su comprensión, por aguantar tantas preguntas y por contestarlas, por su trato y honestidad, por su apoyo incondicional, por su guía constante y por su amistad. Por el trabajo y el tiempo que invirtió durante el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros del Instituto de Neurociencias: Omar, Gaby, Eliana, Adriana, Carlitos, Chuy, Francisco, Orlando, Alejandro, Aída, Víctor, Koral, Marisela, Leopoldo y Luis Alejandro, por todo lo que han hecho por mi, por su amistad y cariño, por enseñarme tantas cosas dentro y fuera del Instituto, por su solidaridad, por sus comentarios, por sus charlas, por hacerme sentir muy bien en Guadalajara.

Y, finalmente, a todos los voluntarios que participaron durante la etapa experimental, por su cooperación, su interés y su tiempo.

ÍNDICE

	Pág.
Resumen	1
Abstract	2
INTRODUCCIÓN	3
1. MECANISMOS CEREBRALES DE LA ATENCION	4
1.1. COMPONENTES DE LA ATENCIÓN	4
1.1.1. Mecanismos cerebrales del alertamiento	5
1.1.2. Mecanismos cerebrales de la atención selectiva	9
1.1.2.1. Teoría del filtro temprano	10
1.1.2.2. Teoría del filtro tardío	12
1.2. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	13
1.2.1. Procesamiento automático	13
1.2.2. Procesamiento controlado	15
1.2.3. Modelo del procesamiento automático y controlado	15
2. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN: MECANISMOS NEUROFISIOLÓGICOS	18
2.1. LA ONDA N100	20
2.2. LA ONDA P300	22
2.3. LA NEGATIVIDAD POR DISPARIDAD (MMN)	24
2.3.1. Generadores cerebrales de la MMN	25
2.3.2. Factores que determinan la MMN	27
2.3.3. Relación de la MMN con la Atención Selectiva	32
3. TRABAJO EXPERIMENTAL	35
3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	35
3.2. OBJETIVOS	37
3.2.1. Objetivo General	37
3.2.2. Objetivos Específicos	37
3.3. HIPÓTESIS	37
3.4. METODO	38
3.4.1. Participantes	38
3.4.2. Estímulos y Tareas	38
3.4.3. Condiciones experimentales	40

	Pág.
3.4.4. Registro Electrofisiológico	41
3.4.5. Procedimiento	42
3.4.6. Análisis de los PREs	43
3.4.7. Análisis de la ejecución de tareas	43
3.4.8. Análisis estadístico	44
4. RESULTADOS	45
4.1. RESULTADOS CONDUCTUALES	45
4.1.1. Tarea de atención auditiva	45
4.1.2. Tarea de atención visual	47
4.2. RESULTADOS ELECTROFISIOLÓGICOS	48
4.2.1. Morfología de los PREs	48
4.2.2. Análisis de la onda MMN	51
4.3. RESUMEN DE RESULTADOS	59
5. DISCUSIÓN	61
REFERENCIAS	73

RESUMEN

El sistema nervioso posee dos mecanismos para el procesamiento de información, el automático y el controlado. La onda MMN, que se genera por la ocurrencia de un estímulo infrecuente, es un marcador electrofisiológico del procesamiento automático. Tradicionalmente se ha propuesto que el procesamiento automático se presenta en paralelo y de manera independiente respecto al procesamiento controlado. Algunas investigaciones han sugerido que, bajo ciertas circunstancias, puede existir una interacción entre las dos formas de procesamiento, una de ellas se basa en datos electrofisiológicos donde la onda MMN se afecta por el procesamiento controlado, sin embargo, otros autores sostienen que esta onda no se modifica en dichas circunstancias. Por ello, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del procesamiento controlado intra e intermodal sobre la onda MMN automática generada por estímulos auditivos. Evaluamos, en 15 sujetos del sexo masculino, los cambios que se presentan en la onda MMN producida por estímulos auditivos, bajo 5 condiciones diferentes: a) una situación control de escucha pasiva, en la que se presentaron estímulos auditivos de acuerdo con un diseño *oddball* (estímulo frecuente: tono de 1000 Hz y estímulos infrecuentes: tonos de 1025, 1050 y 1100 Hz); b) una situación de atención auditiva, en la cual los sujetos tenían que emitir una respuesta ante los tonos infrecuentes; y c) durante 3 condiciones en las que el sujeto debía realizar tareas de atención visual (CPTx, CPTax y CPTxx). Observamos que la amplitud de la onda MMN varía en función del grado de discriminación del estímulo infrecuente, sin embargo, no se presentaron cambios en la amplitud de este componente entre la condición control y las condiciones de atención visual o auditiva, aunque en esta última se presentó una menor latencia. Estos resultados apoyan la idea de que las dos formas de procesamiento (automática y controlada) se realizan en paralelo y están sustentadas por mecanismos neurofisiológicos diferentes.

ABSTRACT

The nervous system has two mechanisms for the processing of information, the automatic and the controlled processing modes. The mismatch negativity (MMN) component is an electrophysiological marker of the automatic processing. It is generated by the occurrence of an infrequent stimulus. It has been proposed that the automatic processing is presented in parallel and in an independent way in relation to the controlled processing. Some studies have suggested that, under certain circumstances, an interaction can exist among the two processing forms, one of them based on electrophysiological data where the MMN is affected by the controlled processing, however a variety of evidence suggests that this wave doesn't change under attention conditions. For these reasons, the aim of this work was determine the effect of the controlled processing on the MMN generated by auditory stimuli. We evaluate, in 15 subjects, the changes that are present in the MMN generated by auditory stimuli, on 5 different conditions: a) a control condition of passive listening, in which auditory stimuli were presented according with an oddball design (frequent stimulus: tone of 1000 Hz , and infrequent stimuli: tones of 1025, 1050 and 1100 Hz); b) a condition of auditory attention, in which the subjects had to respond to the infrequent tones; and c) during 3 conditions where the subjects should carry out tasks of visual attention (CPTx, CPTax and CPTxx). We observed changes in the amplitude of MMN component related to the discrimination level of the infrequent stimulus. No differences were found in the amplitude of the MMN between the control condition and the visual or auditory attention conditions. These results support the idea that the two processing information forms (automatic and controlled) are carried out in parallel and they are sustained by different neurophysiologic mechanisms.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la atención es fundamental para comprender cómo procesamos la información que adquirimos a través de los sentidos. En la vida cotidiana nos vemos invadidos por una gran cantidad de estímulos de los cuales sólo atendemos a unos cuantos, dado que nuestra capacidad de procesamiento es limitada, sin embargo, nuestro cerebro posee mecanismos que trabajan de forma paralela procesando información de manera automática, sin utilizar recursos de atención.

Tales mecanismos ayudan al organismo a mantenerse informado sobre los acontecimientos que ocurren fuera de su foco de atención y, de ser necesario, poder responder a ellos. A pesar de reconocer la existencia de este tipo de procesamiento, aún se necesita una mayor investigación sobre la forma en la que éste opera.

Nuestro trabajo está basado en una pregunta relacionada con la disociación del procesamiento automático de los procesos de atención, en otras palabras queremos determinar si este proceso se afecta por la atención enfocada, ya sea en el mismo canal o en otros canales sensoriales. Creemos que la evidencia electrofisiológica del presente estudio ayudará en la discusión sobre la naturaleza del procesamiento automático.

1. MECANISMOS CEREBRALES DE LA ATENCIÓN

La atención es un proceso que muchos investigadores de diferentes corrientes psicológicas han tratado de explicar. James, Wundt, Titchener y Pillsbury fueron los primeros psicólogos en referirse a ella y la relacionaron con conceptos tales como la conciencia, la percepción y la mente, entre otros (Cohen, 1993).

A pesar del conocimiento actual sobre los procesos psicológicos, es difícil dar una definición general de la atención. De ahí que algunos autores han propuesto que la definición de atención debe enfocarse en la descripción de cada uno de sus componentes (Meneses, 2001).

1.1. COMPONENTES DE LA ATENCIÓN

Meneses (2001) divide la atención en dos componentes principales, que están íntimamente relacionados: El alertamiento y la atención selectiva; éstos a su vez, se dividen en otros subcomponentes (figura 1).

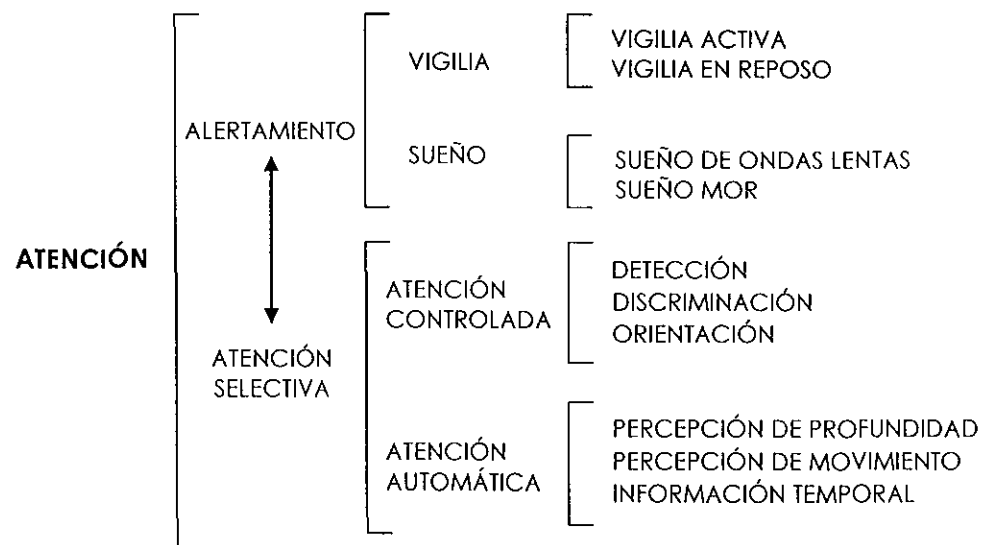


Figura 1. Algunos de los subcomponentes de la atención tienen una relación muy estrecha entre sí, tal es el caso del alertamiento y la atención selectiva, los estados de alertamiento pueden determinar el grado de atención a los estímulos y la atención a un estímulo puede modificar el estado de alertamiento. Adaptado de Meneses, 2001.

1.1.1. Mecanismos cerebrales del alertamiento

"El alertamiento se refiere a estados transitorios de activación que presenta el organismo, los cuales determinan la capacidad de respuesta a los estímulos ambientales" (Meneses, 2001). Una de las funciones básicas de la atención consiste en mantener un estado de activación necesario para procesar señales prioritarias para el organismo.

Se ha observado que los seres humanos pueden presentar diferentes niveles de activación que varían entre el coma y el pánico, y que han sido clasificados en: sueño, adormecimiento, vigilia relajada y vigilia atenta. Cuando un organismo está en vigilia, fácilmente podemos advertir su reacción al presentarse un estímulo novedoso en el ambiente. Primero, se orientará a la fuente de estimulación y luego analizará las características del estímulo (Alcaraz, 2000).

El alertamiento puede regularse por diversos factores, por ejemplo, se presenta un incremento en el nivel de alertamiento durante la ejecución de tareas que demandan un alto grado de atención (Robbins & Everitt, 1997).

A nivel del sistema nervioso central, las investigaciones han señalado que los cambios en el alertamiento están regulados principalmente por estructuras del tallo cerebral, el tálamo y la corteza cerebral (Marrocco et al., 1994; Posner & Petersen, 1990; Robbins & Everitt, 1998).

La observación de cambios de alertamiento en todas las especies de vertebrados llevó inicialmente a los investigadores a pensar en la existencia de una estructura filogenéticamente antigua, capaz de regular los cambios en los niveles de activación. Posteriormente se propuso que esa estructura era la formación reticular (Moruzzi & Magoun, 1949).

La formación reticular o sistema reticular activador ascendente (SRAA), es una estructura que ejerce una influencia activadora sobre el resto del cerebro. Está compuesta por distintos subsistemas asociados a diversas funciones. Al respecto,

Marrocco et al. (1994) señalan que, durante el estado de vigilia, el nivel de alertamiento puede ser regulado por múltiples e independientes sistemas de neurotransmisores que se originan en el tallo cerebral o en el hipotálamo y que proyectan a sitios subcorticales y corticales. La actividad de estos sistemas está determinada, en parte, por las entradas sensoriales, resultando en un conjunto de efectos excitatorios sobre la corteza.

El sistema reticular activador ha sido subdividido en cinco grupos celulares:

1. Sistema noradrenérgico del locus coeruleus (LC).- La excitación de este sistema produce un incremento en el nivel de actividad de las regiones sobre las cuales se proyecta, principalmente en la neocorteza e hipocampo. Se ha observado que después de la lesión del LC, se producen dificultades en el aprendizaje espacial evaluado mediante el laberinto acuático de Morris (Selden et al., 1990, citados en Robbins & Everitt, 1997). Se ha sugerido que el déficit se debe a dificultades en preservar la selectividad atencional bajo altos niveles de alertamiento.

Otro hallazgo importante es que las ratas con lesiones de los núcleos noradrenérgicos no presentan dificultades al realizar tareas de ejecución continua, sin embargo, presentan menor número de respuestas correctas cuando se les presenta ruido blanco (distractor) justo antes de la presentación de los estímulos o cuando el estímulo se presenta con un intervalo variable (Robbins & Everitt, 1997), por lo tanto, los autores sugieren que, cuando hay una disminución en la liberación de NA, se presenta un déficit en la atención controlada.

El grado de actividad de las neuronas noradrenérgicas del LC es considerado un índice de activación y atención, sin embargo, también existen datos que apoyan que un alto grado de atención está relacionado con bajos niveles de actividad del LC. Una interpretación de estos resultados es que la actividad del LC es mayor cuando hay un incremento en el nivel de alertamiento relacionado con la orientación y menor durante la atención sostenida, cuando esta orientación podría ser desventajosa (Marrocco et al., 1994).

Por otra parte, Cirelli et al. (1996) observaron que el LC juega un papel importante en la expresión de factores de transcripción que ocurren durante el estado de vigilia. Al lesionar las células noradrenérgicas observaron que disminuye la expresión de factores de transcripción en las zonas inervadas por esa estructura. Los autores muestran la importancia de estos factores en procesos plásticos y de aprendizaje, y señalan el hecho de que estos procesos ocurren durante el estado de vigilia y no durante sueño.

2. Sistemas colinérgicos del núcleo basal magnocelular del cerebro anterior y del tubérculo pedunculopontino.- Robbins y Everitt (1997) reportan problemas en la ejecución de tareas de detección de señales auditivas o visuales después de la administración sistémica del antagonista colinérgico escopolamina. Los autores sugieren que el bloqueo colinérgico produce dificultades en la discriminación de estímulos relevantes.

3. Sistema dopaminérgico (DA) sustancia nigra/área tegmental ventral. - El sistema mesolímbico DA está implicado en el procesamiento de incentivos motivacionales. La lesión de las células dopaminérgicas que proyectan sobre el estriado ventral, reduce la actividad locomotora en ambientes novedosos o ante la presencia de comida; por lo tanto, una de las principales funciones de este sistema sería incrementar el nivel de activación, en respuesta a claves que señalan la disponibilidad de incentivos o reforzadores. En una tarea de 5 elecciones, la precisión en la detección de un estímulo visual no se ve muy afectada por la destrucción de las fibras DA del sistema mesolímbico; sin embargo, sí afecta la latencia y, sobre todo, se observa un incremento en el número de respuestas impulsivas. Aunque el cuerpo estriado participa en la respuesta motora, es claro que también tiene funciones cognitivas, incluyendo la organización de secuencias del comportamiento (Robbins & Everitt, 1997).

4. Sistema serotoninérgico (5-HT) del Rafé dorsal.- Cuando se afecta el sistema 5-HT en animales se producen alteraciones en funciones básicas, como el apetito, el sueño, la actividad locomotora y las respuestas al dolor, las cuales dificultan el control conductual y, con ello, la ejecución de tareas, por ejemplo, en la prueba de

atención con 5 elecciones, la pérdida central de 5-HT se asocia con un incremento significativo en el número de respuestas impulsivas (Robbins & Everitt, 1997).

Además de los sistemas neuroquímicos del tallo cerebral, se han propuesto otros que también participan en la modulación del nivel de alertamiento, uno de ellos es el sistema histaminérgico tuberomamilar hipotalámico. Existe evidencia de que las neuronas que contienen histamina (HIS) en el hipotálamo, controlan el alertamiento al producir asincronía de la actividad talámica. Por ejemplo, se encontró que la aplicación local de HIS en una neurona talámica *in vitro* producía una despolarización lenta y una alteración de su patrón de disparo, pasando de un modo de disparo en forma de ráfaga a un modo de espiga simple. Así mismo, la aplicación de agonistas noradrenérgicos o de receptores muscarínicos, en las mismas neuronas talámicas, bloquea las corrientes de potasio inducidas por HIS.

Estos datos sugieren que múltiples sistemas de neurotransmisores podrían actuar sobre las neuronas talámicas que controlan la activación cortical (Marrocco et al., 1994).

Se ha indicado que los sistemas de alertamiento están relacionados con la actividad de células talámicas. Kinomura et al. (1996) observaron la actividad talámica en tres condiciones: reposo, detección de estímulos visuales y somatosensoriales. Reportan que existe una activación mayor de los núcleos intralaminares del tálamo y de la formación reticular durante la ejecución de tareas respecto al estado de reposo. Estos autores proponen que estas estructuras incrementan su nivel de activación durante la vigilia, en estados donde hay un alto nivel de alertamiento o atención.

Otra estructura importante en la regulación del alertamiento es el lóbulo frontal, el cual puede inducir un alto nivel de activación, aún en situaciones con una pobre estimulación sensorial. Sturm y Willmes (2001), proponen un sistema de control frontal, que consiste en una red en la cual el giro del cíngulo anterior y la corteza frontal dorsolateral controlan la vía de activación NA del tallo cerebral a través del núcleo reticular del tálamo.

1.1.2. Mecanismos cerebrales de la atención selectiva

En el ambiente cotidiano se encuentran estímulos de diversa naturaleza, que no pueden ser atendidos al mismo tiempo, por ello, los organismos seleccionan la información que es relevante para cada momento particular. Los procesos que intervienen en la selección se denominan atención selectiva.

Posner y Petersen (1990), señalan que los sistemas de atención selectiva se dividen en subsistemas que cumplen diferentes funciones: a) mantenimiento del estado de activación, b) detección de las señales del medio y c) orientación a los eventos sensoriales. La atención selectiva estaría asociada con los subsistemas b y c.

Estos autores postulan una diferencia entre un estado de alertamiento general y un estado en el que la atención se enfoca claramente en un objeto. Cuando el nivel de alerta es bajo, la aparición de un estímulo novedoso o relevante, incrementa el nivel de alertamiento y además interfiere con la atención que se esté prestando a un estímulo específico, haciendo que se cambie el foco de atención. Esto ha llevado a la conclusión de que la detección de un estímulo novedoso interfiere con la ejecución de tareas cognoscitivas que se llevan a cabo en ese momento, puesto que se presenta una competencia por el uso de recursos, en cambio cuando el estado de alerta está en un nivel óptimo, cualquier estímulo con una intensidad suficiente activa los mecanismos que producen la detección (Van Zomeren & Brouwer, 1994).

La presencia de un estímulo novedoso, produce el reflejo de orientación, el cual procede sin una decisión consciente (Van Zomeren & Brouwer, 1994). Este reflejo se divide en dos fenómenos, un efecto activador general (alertamiento fásico) y una orientación selectiva de la atención hacia el estímulo novedoso. Estos fenómenos son claramente observables al estudiar el sistema visual. La orientación visual se ha definido como la foveación hacia un estímulo, la cual permite que el organismo responda más fácilmente a los estímulos que se proyectan sobre esa área del campo visual (Posner & Petersen, 1990).

La localización de un estímulo está ligada a tres funciones principales:

1. Separación de la atención de una localización previa, la cual dependería del lóbulo parietal posterior.
2. Traslación de la atención hacia una nueva fuente, que estaría a cargo de estructuras del cerebro medio, específicamente de los colículos superiores.
3. Ajuste de la atención a un nuevo objetivo, que se llevaría a cabo por mecanismos localizados en el tálamo, especialmente en el núcleo pulvinar (Posner & Petersen, 1990).

Se ha observado que al cambiar el foco de la atención se activan zonas de la corteza parietal posterior (principalmente del hemisferio derecho) y de la corteza frontal; la región parietal se activa cuando se cambia el foco de atención, independientemente de si se ejecuta o no el movimiento ocular, en cambio la región frontal se activa solamente cuando los estímulos seleccionados ocasionan una respuesta ocular (Kandel, 2000).

1.1.2.1. Teoría del Filtro Temprano

Aunque aún no se ha establecido claramente la forma en que opera la selección de la información; una de las teorías mayormente aceptadas es que la atención funciona como un filtro.

Las señales provenientes de los estímulos, son percibidas por el organismo a través de sistemas y órganos sensoriales (canales). Estas señales son seleccionadas en algunas estructuras, las cuales "dejan pasar" la información relevante y detienen la que no es importante.

Esta es la base de la teoría del filtro propuesta por Broadbent en 1958, en su libro *Perception and Communication*. Este autor plantea que el sistema nervioso actúa como un canal de comunicación que posee límites en la transmisión de la

información, además propone que, por la naturaleza limitada del canal, se necesita seleccionar la información relevante, por tanto, los procesos de filtrado son necesarios para el funcionamiento adecuado de los organismos, a tal punto que de no existir, el sistema se sobrecargaría.

La hipótesis de Broadbent supone que este filtro permite procesar solamente la información del canal elegido. Esta información sería la única que afectaría las respuestas del sujeto o que se guardaría en memoria a largo plazo. La información que no se atiende se filtraría en centros primarios de la vía de procesamiento (figura 2).

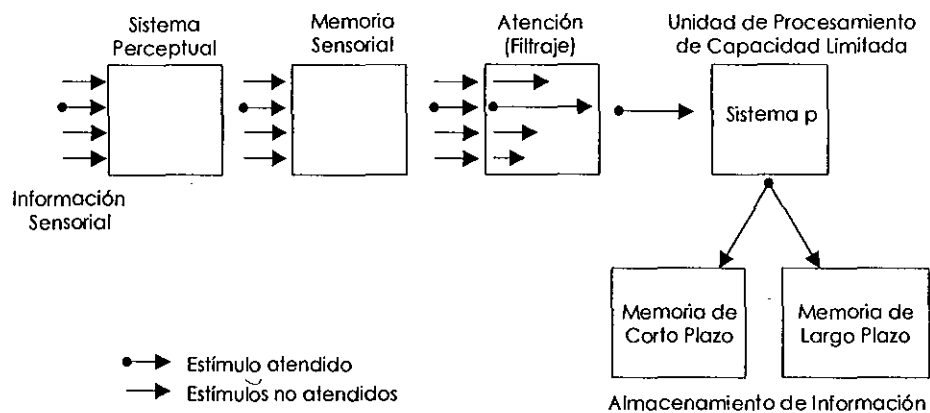


Figura 2. Modelo del filtro propuesto por Broadbent (1958). La información no atendida se filtra en centros tempranos de la vía sensorial, lo cual hace posible el procesamiento de información por un sistema de capacidad limitada.

Este sistema de filtraje trabaja sobre la base de las características físicas de los estímulos. Por lo tanto, sólo se puede retener información sobre la cual se presta atención, el resto, se perdería al no ser relevante (Broadbent, 1958). Posteriormente, este autor propuso que la respuesta "simultánea" a varios canales es posible únicamente cuando el flujo de información tiene una tasa baja.

Desde el punto de vista electrofisiológico, se han encontrado evidencias que apoyan esta teoría. Woldorff et al. (1993) realizaron un estudio en el que presentaban estímulos mediante la técnica de escucha dicótica. La tasa de presentación era muy alta (3 a 8 estímulos por segundo), y se le pidió a los sujetos

que atendieran a uno de los canales y trataran de discriminar estímulos blanco. Mediante la técnica de magnetoencefalografía se observó que los tonos presentados en el canal atendido generaron ondas M100 de mayor amplitud que los estímulos presentados en el canal no atendido. Las ondas de diferencia, (que se obtienen de restarle al potencial producido por los estímulos atendidos, el generado por los estímulos no atendidos), revelaron una onda muy temprana relacionada con la atención (latencia 20-50 mseg). Ellos concluyeron que la atención enfocada puede modular selectivamente el procesamiento sensorial en la corteza auditiva en etapas tempranas del procesamiento (20 mseg después de presentado el estímulo).

1.1.2.2. Teoría del filtro tardío

Las primeras críticas a la teoría de Broadbent se basaron en el supuesto de que el contenido de la información que supuestamente se filtra y, por tanto, no se procesa, sí produce una impresión (Moray, 1959; Treisman, 1960, 1964; citados en Neisser, 1976). Moray observó que, en tareas de escucha dicótica, los sujetos podían detectar su nombre cuando éste se presentaba en el canal no atendido. Estos resultados mostraron que los estímulos no atendidos sí son analizados en mayor grado del que proponía Broadbent (Styles, 1997).

Estudios posteriores del mismo Broadbent y de Treisman (1960, 1964) (citada en Styles, 1997) mostraron que el filtro no sólo opera sobre las características físicas de los estímulos, sino que también el significado de éstos puede influir en su selección. Treisman propuso que los estímulos no atendidos no eran filtrados totalmente, sino sólo atenuados y que esta información podía ser manipulada; además propuso una localización flexible para el filtro en distintas etapas del procesamiento, de acuerdo con la jerarquía específica para cada tipo de información (Treisman, 1964) (figura 3).

Treisman sugirió que el reconocimiento de los estímulos surge por acumulación de información. El estímulo que no es atendido puede ser tan débil como para no causar su detección, sin embargo, cuando el sistema que detecta la información se ha activado recientemente por otros estímulos, la información podría ser suficiente para su reconocimiento. A la facilitación en la capacidad para identificar o

procesar un estímulo determinado como consecuencia de haber sido expuesto previamente al mismo estímulo o a una situación similar se la llamó el efecto *priming* (Pashler, 1998).

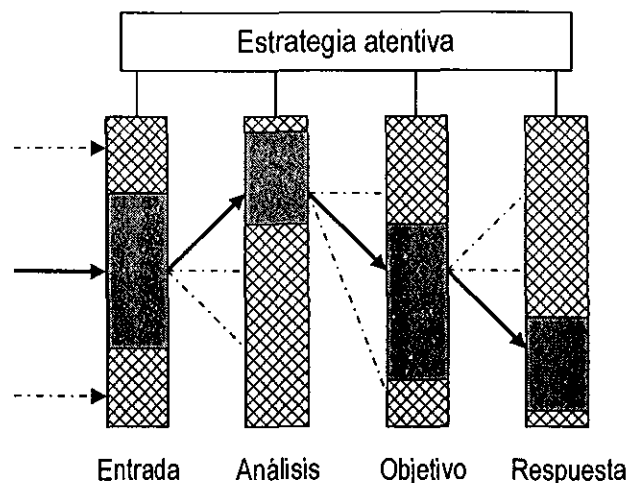


Figura 3. Modelo del filtro propuesto por Treisman, quien postuló un proceso de filtrado llevado a cabo en diferentes relevos de la vía, dejando pasar alguna información y atenuando otra.

Paralelamente, se sugirieron otras posturas respecto a la localización del filtro. Estas proponen que el filtraje puede ocurrir en niveles tardíos del procesamiento. Los partidarios del filtro tardío, como Deutsch y Deutsch (1963), propusieron una visión extrema en la que el filtro actuaba muy tardíamente, durante estados de decisión o respuesta, pero no durante la percepción o estados de extracción de características.

1.2. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

Se han descrito dos formas de procesamiento de la información, el procesamiento automático y el procesamiento controlado.

1.2.1. Procesamiento Automático

De toda la información presente a nuestro alrededor, sólo somos conscientes de un pequeño porcentaje, sin embargo, muchos de los otros estímulos también pueden

ser procesados, pero no de la misma manera que los estímulos atendidos.

El procesamiento automático, que opera sobre la gran mayoría de los estímulos que recibimos, se refiere a la selección que puede ser ejecutada sin intención. Por ejemplo, el sonido de la alarma del despertador es un estímulo cuya información se procesa automáticamente durante el sueño pero, para que esto ocurra, debe cumplir ciertas condiciones como: una mayor intensidad del sonido, ser un estímulo relevante para el sujeto o ser un estímulo novedoso. En general, los estímulos que se presentan durante el sueño se procesan automáticamente. Otro tipo de estímulos que se procesan por esta vía son los que están relacionados con secuencias de comportamiento que ya se han automatizado, por ejemplo, escribir con un teclado, leer o conducir un carro.

El procesamiento automático, por lo tanto, tendría la finalidad de seleccionar estímulos relevantes del medio aún cuando no se esté prestando atención a ellos, brindando la posibilidad de que el sujeto pueda orientarse posteriormente a fuentes de información, importantes para su supervivencia. Otra función del procesamiento automático es la de descargar de los sistemas de procesamiento controlado, aquellas secuencias de respuestas que han sido continuamente practicadas, lo cual ahorra esfuerzo y permite emplear mayores recursos de atención en tareas más demandantes.

Posner y Snyder (citados en Pashler, 1998), postulan ciertos criterios que definen el procesamiento automático: 1) ocurre en ausencia de intención, 2) no necesariamente produce conocimiento consciente y 3) no interfiere con otras actividades que están en curso. De acuerdo con estos autores, las operaciones mentales que se practican suficientemente no sólo llegan a ser ejecutadas de forma más rápida y precisa, sino que también experimentan cambios cualitativos.

Por su parte, Hasher y Zachs (citados en Cohen, 1993), propusieron que la codificación de la frecuencia de presentación de los eventos, la localización de objetos en el espacio y la información sobre el orden temporal de los eventos son todos procesados y codificados automáticamente, ya que durante un experimento

se puede registrar esta información sin hacer ningún esfuerzo por aprehenderla.

De esta forma, el procesamiento automático actuaría en paralelo con el procesamiento controlado, pero sólo tendríamos conciencia de la información, en la medida que ésta sea relevante.

1.2.2. Procesamiento Controlado

Cuando decimos que "estamos atentos a algo", nos referimos al hecho de estar enfocando la atención a un solo elemento dentro de todo un panorama de estímulos. Para ello, se rastrean los cambios que van sufriendo los objetos, las secuencias de movimiento, palabras, etc., que se procesan por vía controlada, para luego, integrar la información y poder ejecutar una respuesta. Por ejemplo, cuando se está en proceso de aprendizaje de nuevos comportamientos, se atiende a cada uno de los pasos que hay que seguir para lograr el objetivo.

El procesamiento controlado implica la utilización de recursos atencionales. Está mediado por la intencionalidad y por las características de los sujetos. Otro de los atributos del procesamiento controlado es que tiene una capacidad limitada, ya que el organismo no puede atender efectivamente a diferentes estímulos al mismo tiempo, a no ser que algunos de ellos sean procesados por vía automática (Cohen, 1993; Pashler, 1998). Referirnos al procesamiento controlado apunta al hecho de que cuando un estímulo es atendido, utiliza gran cantidad de recursos atencivos y, por tanto, cuando se intenta compartirlos con otros estímulos se crea una interferencia, que se puede traducir como retardo o errores en la ejecución (Treisman et al., 1983).

1.2.3. Modelo del Procesamiento Automático y Controlado

En 1977, Schneider y Shiffrin formularon este modelo, en el que conjugan la teoría del procesamiento automático y controlado (Tabla 1). Estos autores definen al procesamiento controlado como una secuencia temporal activada a través de la atención. Proponen que sólo una secuencia puede ser controlada sin interferencia;

cuando se presentan más, ocurre interferencia, a menos que las secuencias se puedan activar lentamente y estén relacionadas. El procesamiento controlado, es de capacidad limitada, sin embargo, el costo de esta limitación se compensa por los beneficios derivados de la facilidad con la cual tal procesamiento puede ser ejecutado, alterado y aplicado a situaciones novedosas.

Tabla 1. Diferencias entre el procesamiento automático y controlado (adaptado de Cohen, 1993).

Característica	Automático	Controlado
Recursos de procesamiento	No se requieren	Requeridos
Control	Incompleto	Completo
Práctica	Mejora	Efecto mínimo
Modificación	Difícil	Fácil
Almacenamiento	Poco	Gran cantidad
Conciencia	Baja	Alta
Atención	No requiere	Requiere
Esfuerzo	Poco	Mucho

Durante el procesamiento automático hay una activación secuencial de nodos en los cuales: 1) la misma secuencia es activada siempre por una entrada particular, puesto que existe una relación invariante entre el estímulo y la respuesta, y 2) la secuencia se activa y se ejecuta con poca o ninguna atención.

Para que un procesamiento nuevo se convierta en automático es necesario una cantidad determinada de entrenamiento; una vez aprendida, una secuencia automática es difícil de suprimir, ignorar o modificar.

Un ejemplo clásico de la presencia de estos dos tipos de procesamiento es la tarea Stroop, donde se presenta una tarjeta que contiene una lista de palabras que denotan colores. Las palabras no corresponden con el color de la tinta con la que están escritas (por ejemplo, la palabra "azul" escrita en tinta verde). En una de las condiciones experimentales el sujeto tiene que leer en voz alta las palabras y posteriormente, en otra condición, debe nombrar el color de la tinta en el que están escritas. Se observa que cuando los sujetos deben decir el nombre de la tinta, hay un aumento en el tiempo que emplean para realizar la tarea (MacLeod, 1991). Schneider y Shiffrin (1977) postulan que, en este caso, la lectura se procesa

totalmente por vía automática, mientras que mencionar el nombre de la tinta, se ejecuta a través de la vía controlada (figura 4), utilizando un mayor número de recursos atencionales. De esta forma el procesamiento automático interfiere con la tarea de procesamiento controlado.

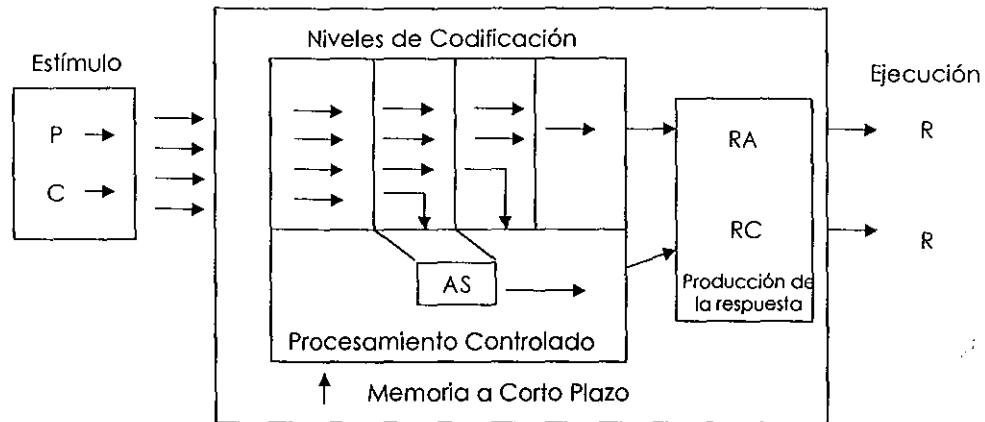


Figura 4. Efecto Stroop explicado desde el modelo propuesto por Shiffrin & Schneider (1977). En la condición en que se debe mencionar la palabra se utiliza la vía de procesamiento automático, en cambio, al nombrar el color con que está escrita la palabra se emplea la vía de procesamiento controlado. P: palabra (nombre de color), C: color de la tinta, AS: Atención selectiva, RA: respuesta automática y RC: respuesta controlada.

Otras evidencias sobre el procesamiento automático y controlado, y en general sobre la teoría de la atención, provienen del campo electrofisiológico, ya que se han descrito diferentes componentes que están asociados al procesamiento de información. Este será el tema del siguiente capítulo.

2. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN: MECANISMOS NEUROFISIOLÓGICOS

Las técnicas electroencefalográficas han sido muy utilizadas para evaluar diferentes procesos cognitivos, principalmente por ser un procedimiento no invasivo que permite registrar el funcionamiento de diferentes zonas cerebrales con una alta resolución temporal.

El registro de la actividad eléctrica cerebral se realiza por medio de electrodos que se colocan en la superficie del cráneo. Generalmente su ubicación está determinada por el Sistema Internacional 10-20, desarrollado por Jasper en 1958. Dichos electrodos transmiten la señal eléctrica a un amplificador donde además se pueden ajustar las frecuencias de las ondas que se quieren registrar.

La técnica de los potenciales relacionados a eventos (PREs), consiste en el registro de la actividad eléctrica cerebral asociada a un evento, que puede ser la presentación de un estímulo o la realización de un acto motor. Para ello, es necesaria la exposición repetida al estímulo, para que, por medio de la promediación se pueda obtener la señal.

Las cualidades del estímulo, el contexto en el que se presenta, el tipo de tarea y la zona registrada determinan la morfología de las ondas (latencia, amplitud, polaridad).

Los componentes del potencial se han clasificado como de latencia temprana, media y tardía, de acuerdo con el tiempo transcurrido entre el inicio de estímulo y la generación de la onda (Figura 5).

Los componentes de latencia temprana se han asociado con las características físicas del estímulo y, por ello, son llamados exógenos. Un ejemplo son los potenciales de tallo cerebral, que se generan durante los 10 mseg posteriores a la presentación

de estímulos auditivos. Cada uno de estos componentes se asocia con un relevo en la vía auditiva ubicada en el tallo cerebral. Este tipo de componentes no se afecta por las variaciones del estado del sujeto o por la manipulación cognitiva.

Los componentes de latencia media se presentan después de los 10 mseg posteriores al estímulo y están relacionados con características exógenas; es decir, que se afectan por algunos atributos de los estímulos. Entre estos se encuentran los componentes No, Na, Nb, Po y Pa. Se ha descrito que los componentes que se encuentran entre los 20 y 50 mseg son modulados por la atención (Woldorff, et al., 1993).

Los componentes tardíos de los PREs se presentan después de los 80 mseg y se les ha asociado con diferentes procesos perceptuales y cognoscitivos. Algunos de estos componentes están relacionados con procesos de atención, entre ellos se encuentran la onda N1, la Negatividad por disparidad o MMN y el componente P300 (Meneses, 2001).

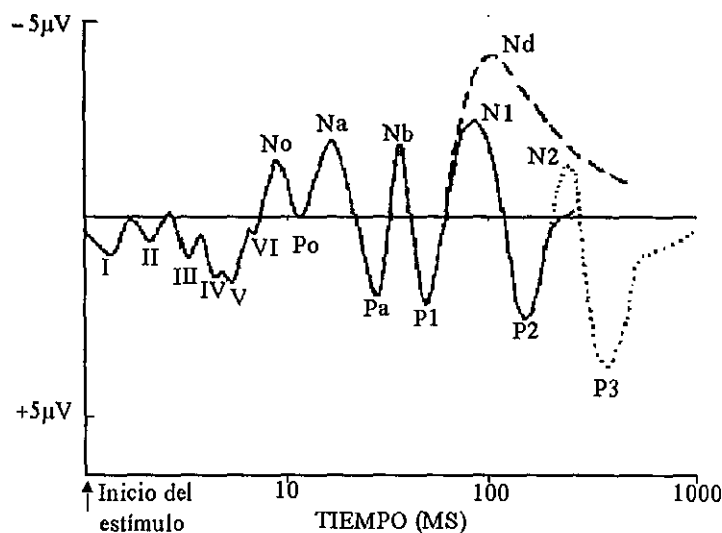


Figura 5. Componentes de latencia temprana, media y tardía que se presentan en un registro de potenciales auditivos. Adaptado de Hillyard y Picton (1987).

2.1. LA ONDA N100 (N1)

La onda N1 denota una negatividad que alcanza su máxima amplitud hacia los 100 mseg después del inicio del estímulo y es precedida por una positividad pequeña la cual aparece hacia los 50 mseg (P50).

El componente N1 es evocado por un cambio relativamente abrupto en las características del estímulo que llega a los receptores sensoriales. Los estímulos que cambian muy lentamente no generan esta respuesta, mientras que los estímulos sostenidos generan la onda N1 sólo en su inicio, ya que ésta depende de estímulos cuya duración sea breve. Algunas de las neuronas corticales responden al inicio y no a la continuación de los estímulos sensoriales, por tanto la N1 probablemente representa una respuesta real al inicio y no a algún artefacto de sincronización (Näätänen, 1992).

Cuando Hillyard, en 1973, registró esta onda en una tarea de escucha dicótica, encontró que al atender a los estímulos presentados en un oído específico, se presentaba un incremento de amplitud de una onda negativa que se registraba aproximadamente a los 100 mseg. La interpretación inicial de Hillyard fue que el incremento en la amplitud de este componente reflejaba una facilitación en la activación de las células encargadas del procesamiento de los estímulos atendidos, mientras que la disminución que se presentaba ante estímulos presentados en el oído no atendido podía ser interpretada como una atenuación o rechazo de estos estímulos para impedir que fueran procesados con mayor profundidad.

Existe un debate sobre el tipo y origen de las ondas que se presentan en esta latencia, algunos autores señalan la posibilidad de que sean diferentes componentes los que aparecen en esta latencia, cada uno de los cuales podría reflejar procesos distintos (Woods, 1995; Meneses, 2001). Al respecto, Hillyard (1997) supone que la parte temprana de la onda Nd generada por la atención, incluye una amplificación verdadera del componente N1; por su parte Näätänen (1990)

supone que la Nd surge de una fuente neuronal separada y endógena que se activa solamente por la atención al estímulo. El primer efecto debería estar de acuerdo con un mecanismo de control de ganancia sensorial, mientras que el segundo, debería indicar un procesamiento especializado para el estímulo atendido. Sin embargo, parece ser que es bastante difícil resolver esta controversia puesto que la N1 y la Nd tienen múltiples subcomponentes, que se generan en distintas regiones del cerebro.

La onda N1 probablemente es generada en al menos dos diferentes localizaciones en la corteza auditiva. De acuerdo con Näätänen y Picton (1987), el primer componente N1, es una negatividad que se registra con máxima amplitud en regiones frontocentrales, generada por dipolos orientados verticalmente en el plano supratemporal de la corteza auditiva. Este componente, originalmente propuesto por Vaughan y Ritter en 1970, está sustentado fuertemente por estudios que utilizan técnicas como la del magnetoencefalograma (MEG).

Näätänen y Picton (1987) estimaron que el componente supratemporal es ligeramente más grande en regiones cerebrales contralaterales al oído estimulado, esto ocurre por la asimetría de la vía auditiva, ya que cada oído envía más fibras a la corteza contralateral que a la ipsilateral.

El segundo componente es el llamado Complejo T, originalmente descrito por Wolpaw y Penry en 1975, presenta un subcomponente positivo a los 100 msec y uno negativo a los 150 msec, su amplitud máxima se registra en la región temporal medial. Este complejo probablemente se origina en la corteza de asociación auditiva, en el giro temporal superior. Estos datos se han corroborado en estudios en los que se han realizado registros intracerebrales (Celesia, 1976; McCallum & Curry, 1979, 1980; Scherg & von Cramon, 1986. Citados en Näätänen, 1992).

Un tercer componente N1, es el no específico, cuyo pico alcanza su máximo cerca de los 100 msec en la zona Cz. La distribución de este componente es algo posterior a la del primer componente, con el cual se sobrepone marcadamente. Se ha sugerido que el componente no específico es generado en la corteza frontal

motora y premotora, bajo la influencia de la formación reticular y el tálamo (Näätänen & Picton, 1987).

El papel que tiene el lóbulo frontal en la generación de la N1 ha sido objeto de diversos estudios (Knight, 1980; Knight et al., 1981; Woods & Knight, 1986). En una de las investigaciones evaluaron el desempeño y los potenciales registrados en pacientes con lesiones del lóbulo frontal, en una tarea de escucha dicótica. Encontraron que la N1 mostraba una menor amplitud en el grupo de pacientes que la presentada en el grupo control. Además, los pacientes mostraron una pobre ejecución al compararla con los sujetos normales. Estos datos indican que los lóbulos frontales estarían modulando procesos de atención.

Otro hallazgo al respecto, son los estudios sobre sueño, especialmente se ha reportado una disminución de la amplitud de la N1 en este estado, algunos autores, además, reportan la adición de un componente positivo hacia los 200 mseg (Näätänen & Picton, 1987).

2.2. LA ONDA P300

Esta onda ha sido objeto de muchos estudios, en parte por la facilidad con la cual se puede obtener y por los procesos cognitivos asociados con su generación.

Sutton et al. (1965) describieron por primera vez a la onda P300. Es un componente endógeno, que puede ser generado por estímulos auditivos, visuales o somatosensoriales. Su latencia varía entre los 250 y 800 mseg después del inicio del estímulo. Generalmente es precedido por una onda negativa (N2) y seguido por una onda lenta cuya polaridad varía de acuerdo a la topografía del cráneo (Cohen, 1993).

El diseño experimental básico para generar la P300 consiste en la presentación repetida de dos tipos de estímulos de muy breve duración, que se diferencian en alguna característica. Uno de los estímulos se presenta de manera frecuente

(estándar) y es reemplazado de forma impredecible e infrecuente por el otro estímulo (raro o de prueba); ante éste último, el individuo debe dar una respuesta, por ejemplo oprimir un botón o contar el número de veces que este estímulo es presentado. La amplitud y latencia de esta onda cambian dependiendo de diferentes variables, como por ejemplo, la probabilidad de ocurrencia del estímulo, la dificultad de discriminación entre estímulos, las características de los sujetos (edad, enfermedades neurológicas), etc. (Meneses, 2001).

También se ha podido observar, que la latencia de este componente está asociada con el tiempo requerido para el procesamiento y categorización de los estímulos, mientras que la amplitud refleja el grado en que las características del estímulo prueba se actualizan en la memoria de trabajo o bien, aspectos relacionados con la motivación (Meneses, 2001).

Rugg y Coles (1995), señalan que la P300 no parece ser un componente único, sino que tiene al menos dos componentes, el P3a y el P3b, los cuales son generados por la activación de distintos sistemas neuronales, que responden en forma diferencial de acuerdo con las demandas de la tarea.

Una parte de este complejo es el componente P3a, que se presenta si un tercer evento es introducido dentro de la tarea básica. La novedad de ocurrencia es definida en el contexto de los otros dos eventos, (por ejemplo el ladrido de un perro en el contexto de tonos puros altos y bajos). Dicho estímulo novedoso genera una onda positiva de gran amplitud, con una latencia menor que la del P3b y una distribución orientada más hacia la zona frontal, por tanto, se ve alterada cuando ocurren lesiones de la corteza frontal (Rugg & Coles, 1995).

Este componente se ha asociado con procesos involucrados en la orientación involuntaria de la atención por eventos novedosos y, a veces, es precedido por un componente negativo que inicia aproximadamente a los 100 mseg.

Otro componente que se ha identificado es el P3b o parietal. Su latencia correlaciona fuertemente y de manera positiva con el tiempo de reacción, sobre

todo cuando en la instrucción se hace énfasis en la precisión de la respuesta, más que en su velocidad (Meneses, 2001).

La amplitud de la onda P3 parietal es sensible al significado que tiene un estímulo para el sujeto, así como a variables de relevancia y expectación de la tarea. Por ejemplo, en una condición en la cual el sujeto apostaba al estímulo que iba a seguir, la P3 aumentaba conforme más dinero se hubiese apostado. De manera similar, la amplitud de este componente aumentaba cuando se respondía a estímulos que significaban un alto valor de pago. Así mismo, cuando se proveía al sujeto de señales de retroalimentación sobre el desempeño en una tarea de elección de juicios, también se generaban una P3b con mayor amplitud (Hillyard & Picton, 1987).

2.3. LA NEGATIVIDAD POR DISPARIDAD (MMN)

Este componente consiste en una negatividad que inicia aproximadamente a los 100 mseg posteriores a la presentación de un estímulo novedoso. Se puede generar en una tarea donde se presenta un cambio repentino en una o varias de las propiedades del estímulo que se ha estado presentando de manera repetitiva.

La primera interpretación fue que se trataba de un incremento en la amplitud de la onda N200 ante el estímulo novedoso, posteriormente Näätänen y sus colaboradores, encontraron que el incremento en la amplitud de la onda N200 se debía a la presencia de un componente que se presentaba en el mismo rango de latencia, y que se podía observar al restar el potencial producido por el estímulo frecuente o estándar del potencial causado por el estímulo infrecuente o novedoso (Meneses, 2001) (figura 6).

Näätänen (1992) propuso que este componente se generaba de manera automática al detectarse un cambio en las propiedades del estímulo y era producido por la activación de un sistema particular de neuronas. Por ello, la MMN está relacionada con los procesos de atención involuntaria y apoya al modelo de procesamiento en paralelo de la información sensorial.

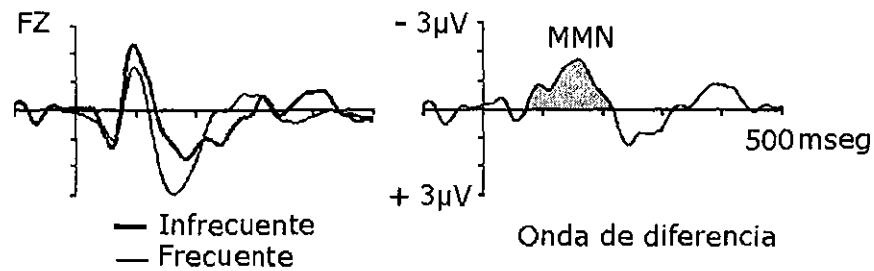


Figura 6. La onda MMN es producto de la diferencia entre la onda generada por la respuesta al estímulo estándar o frecuente y la onda generada por la respuesta al estímulo raro o infrecuente.

La MMN constituye la manifestación de un mecanismo de detección de discrepancias, donde se compara la información contenida en la memoria sensorial con la información que proviene del medio (Kujala & Näätänen, 2003). Al respecto se ha sugerido que los primeros estímulos estándar que se presentan al comienzo del bloque desarrollan un trazo de memoria, precisando la representación de cada característica del estímulo (incluyendo los aspectos temporales de la estimulación) y, si se presenta un estímulo raro mientras este trazo de memoria continúa activo, entonces la detección automática del cambio generaría la onda MMN (Näätänen, Brattico & Tervaniemi, 2003).

En resumen, esta onda se produce cuando se encuentra una disparidad entre la presentación del estímulo raro y el trazo del estímulo estándar. Sin embargo, se requiere que el trazo del estímulo estándar no decaiga, para ello, este estímulo debe presentarse repetidamente a intervalos cortos. También se ha sugerido que la memoria sensorial puede mantener más de una representación, de manera que dos o más trazos de memoria pueden estar activos simultáneamente (Kujala & Näätänen, 2003).

2.3.1. Generadores cerebrales de la MMN

Näätänen et al. (1978) sugirieron que esta onda reflejaba un proceso de discriminación auditiva específica, el cual tenía lugar en la corteza temporal y en áreas de asociación. Posteriormente se propuso que, para la modalidad auditiva, la

MMN estaba constituida por al menos dos generadores (Näätänen & Michie, 1979; Perrin, Bertrand, Giard & Echallier, 1987; citados en Näätänen, 1992).

El primer generador se localiza en la corteza temporal y se ha asociado a un mecanismo de tipo sensorial, que involucra la detección preconsciente de la desviación en las características del estímulo, el cual posteriormente, activará los mecanismos frontales relacionados con el reflejo de orientación. Se ha relacionado con el análisis de las características de los estímulos y con el trazo en la memoria sensorial.

Algunos autores han propuesto la existencia de un par de generadores, orientados verticalmente en la vecindad de la corteza auditiva, sobre el plano supratemporal (Giard et al., 1990). Previamente, Alho, et al. (1986), usando un electrodo de referencia en la punta de la nariz, observaron una inversión de la polaridad de la MMN en la región de la cisura de Silvio, lo cual apoya la propuesta de un generador supratemporal.

El segundo generador se localiza en la corteza frontal y está relacionado con la discriminación del cambio en las características del estímulo y con la respuesta de orientación. Esta activación neuronal se ha asociado con el cambio en la atención.

Estudios posteriores han tratado de encontrar evidencias sobre la naturaleza de estos dos generadores y de los aspectos funcionales que los distinguen. Sato et al. (2000), encontraron que la actividad de los dos generadores de la MMN se afectaba diferencialmente por cambios en la probabilidad de ocurrencia del estímulo estándar y, como consecuencia, en la del estímulo infrecuente. El componente frontal incrementó su amplitud significativamente cuando disminuía la probabilidad de ocurrencia del estímulo raro, mientras que el componente temporal no fue afectado por el cambio de probabilidad. Sugieren que el componente frontal puede estar involucrado en el procesamiento de estímulos infrecuentes no familiares y, por ende, en la iniciación del cambio de la atención.

Yago et al. (2001), al registrar la onda MMN generada por cambios en la frecuencia

tonal del estímulo raro, en presencia de una tarea visual, encontraron que el componente frontal, que se ha descrito más tardío, se activaba antes que el componente temporal. Estos autores sugieren que en este caso, el tálamo podría estar involucrado en la activación temprana, y proponen que existen mecanismos diferentes que subyacen a la detección del cambio para estímulos que difieren en duración y en frecuencia.

Jemel et al. (2002), registraron la onda MMN generada por estímulos infrecuentes que cambiaban en duración y frecuencia tonal, respecto al estímulo frecuente, durante la realización de una tarea de atención visual, y encontraron que la onda generada por cambios de frecuencia tonal es más temprana que la generada por cambios en la duración, además estos autores encuentran que la onda generada por estímulos que cambian en frecuencia tonal tiene una amplitud mayor (20%) que la generada por estímulos que cambian en duración. Por otra parte, confirman que las dos fuentes generadoras de la MMN se encuentran en el lóbulo frontal y temporal, y que la onda generada por cambios en frecuencia tonal está mejor definida en el hemisferio derecho. Estos hallazgos concuerdan con los encontrados por Yago et al. (2001).

2.3.2. Factores que determinan las características de la onda MMN

En diversos trabajos se han descrito una serie de condiciones que producen cambios en la morfología de esta onda.

Características del estímulo infrecuente. La primera de estas condiciones se refiere a la naturaleza del estímulo que genera la MMN. Se han realizado diferentes estudios en donde el estímulo infrecuente se diferencia del frecuente en diversas características tales como la frecuencia tonal del estímulo auditivo (Escera et al., 2002), la intensidad (decremento e incremento), duración (Jacobsen & Schröger, 2003; Todd & Michie, 2000), localización espacial (Arnott & Alain, 2002), y violaciones a regularidades acústicas en los estímulos infrecuentes, por ejemplo, en una tarea donde se presentan tonos de manera alternada en cada oído y, eventualmente se presentan dos tonos seguidos en el mismo oído; ante esta irregularidad acústica, se

presenta la onda MMN (Takegata et al., 2001). Por lo tanto, se evidencia que la onda MMN puede generarse bajo diferentes condiciones experimentales, siempre y cuando se cumplan dos funciones: que el sistema auditivo mantenga una representación del estímulo estándar en memoria y que se codifique una representación del estímulo infrecuente como diferente del estándar o frecuente.

Tratando de determinar si existe alguna implicación de los mecanismos o generadores de la MMN en el lenguaje, se han utilizado estímulos con estructuras fonéticas diferentes (Näätänen, 2000), y ante segmentos de silencio entre estímulos (Bertoli et al., 2001). Se ha encontrado que los sonidos de vocales en la lengua materna generan una MMN mucho más grande que si se producían en otro idioma, además si la pronunciación de una vocal entre dos lenguas es similar, no se genera este aumento, por lo tanto se ha llegado a la conclusión de que existe una ubicación para el trazo de vocales específicas de la lengua materna, que podría localizarse en la corteza auditiva izquierda.

Näätänen (1992), sugiere que los cambios en la latencia de la MMN están más relacionados con variaciones en el tono del estímulo auditivo, mientras que las diferencias observadas en la amplitud, se relacionan con cambios en la intensidad y localización del estímulo; sin embargo, en el estudio reportado por Escera et al. (2002), al comparar cambios de la MMN ante estímulos raros que difieren del estímulo estándar (600 Hz, 200 msec, 85 dB) en la frecuencia tonal (700 Hz), duración (50 msec) o intensidad (79 dB), encuentran diferencias significativas en la amplitud de la onda y no en la latencia. Los estímulos que difieren en duración tienen una amplitud mayor que los de frecuencia y los de intensidad generan la MMN más pequeña.

Resultados similares fueron encontrados por Kathmann et al. (1998), al comparar la onda MMN generada por cambios en la frecuencia tonal y duración del estímulo raro en condiciones de atención visual (contar el número de veces que cambió de posición un patrón) y control (no hubo tarea, únicamente la instrucción era mantener los ojos abiertos e ignorar los estímulos auditivos); estos autores afirman que la condición de atención visual no afecta la amplitud de la onda MMN.

Por su parte, Deouell y Bentin (1998), al diseñar un experimento en el que trataron de controlar la variabilidad intrasujeto, obteniendo los umbrales individuales de cada sujeto para frecuencia tonal, intensidad, asincronía en el inicio del estímulo (SOA por sus siglas en inglés) y localización, encontraron que la MMN generada por estímulos que cambian en frecuencia muestra una mayor amplitud, en comparación con la generada por estímulos que cambian en intensidad, localización y SOA; en cuanto a variaciones en la latencia, se encontró que la MMN generada por cambios en la SOA era más temprana que la generada por cambios en frecuencia, intensidad y localización. Los autores señalan que la mayor amplitud de la MMN generada por estímulos que cambian en frecuencia se observó en la zona frontal pero no en mastoides, lo que lleva a suponer que esta diferencia esté más relacionada con el generador frontal de la MMN asociado con la atención, que con el generador ubicado en la corteza temporal.

Probabilidad de ocurrencia del estímulo. Näätänen (1992) reporta que la amplitud de la onda MMN se afecta por la probabilidad de ocurrencia del estímulo infrecuente; a menor probabilidad, la MMN presenta una mayor amplitud.

Esto se ha comprobado en diferentes investigaciones, una de las más recientes es la de Sato et al. (2000) donde se utiliza un estímulo infrecuente con cuatro probabilidades de presentación; 5, 10, 20 y 30%. Estos investigadores encuentran un decremento gradual en la MMN medida en Fz, siendo la amplitud menor para la condición con 30% de probabilidad y la mayor para 5% de probabilidad. Sin embargo, es el generador frontal el que se afecta en esta condición. Estos autores sugieren que la frecuencia de presentación afecta la generación del trazo de memoria, el cual es más débil cuando el estímulo raro tiene una probabilidad mayor, por lo cual no se alcanzaría a desencadenar la activación del generador frontal.

El Intervalo interestímulo (IIE) puede afectar la onda MMN, puesto que éste determina la duración del trazo de memoria. La MMN se puede generar hasta con un IIE entre 1 y 2 segundos, ya que si sobrepasa este tiempo, el trazo de memoria decae y con esto también la amplitud de la onda.

No obstante, Näätänen (1992), reporta un estudio donde se comparan diferentes duraciones del IIE: 4, 6 y 10 segundos, los resultados apuntan a que se puede generar una MMN de menor amplitud con estos IIE, sin embargo, ante IIE prolongados sólo se observa este componente si la diferencia entre estímulos es claramente reconocible y si los estímulos son de larga duración. Por lo tanto, parece ser que si las características que diferencian a los estímulos infrecuentes son muy marcadas, contribuyen a que se sostenga el trazo de memoria por mayor tiempo.

Predicción en la ocurrencia del estímulo infrecuente. La MMN, que refleja un procesamiento automático, preatentivo, no se afecta por un conocimiento previo de la aparición del estímulo. Esto ha sido confirmado por varios estudios, como el de Rinne et al. (2001), donde el mismo sujeto era quien propiciaba la aparición de los estímulos infrecuente y estándar. Estos autores no encuentran diferencias en la morfología de la onda al compararla con una situación de no predicción.

Relevancia del estímulo infrecuente. Näätänen (1992) sugiere que la MMN no se afecta por la relevancia de los estímulos infrecuentes, la cual depende de la tarea que se esté desempeñando. Este investigador y sus colaboradores utilizaron un diseño donde se presentaron dos tipos de estímulos infrecuentes y se le pidió al sujeto que emitiera una respuesta solamente ante uno de ellos, sin embargo, no se encontró una diferencia significativa entre las MMN ante ambos estímulos. Por su parte, Potts et al. (1998), compararon la onda MMN generada en una condición de escucha pasiva y otra activa, y no encontraron diferencias en cuanto a su morfología o amplitud. Estos resultados apuntan al hecho de que la automaticidad reflejada en este componente no se afectaría por las características de la tarea (procesamiento controlado) o por el significado que tienen los estímulos para el sujeto.

Habitación. El decremento en la amplitud de la MMN en el curso de una sesión experimental de larga duración no es significativo. En un estudio citado por Näätänen (1992), se encontró que esta onda era muy similar en las diferentes fases de una sesión experimental de 2 horas de duración. Por lo tanto, se pensaría que el trazo de memoria no decae puesto que se actualiza cada vez que se presenta el

estímulo frecuente y siempre se compara con el estímulo infrecuente. Sin embargo, recientemente, McGee et al. (2001), muestran que en sesiones de 15 minutos cuando se utilizan sílabas como estímulos, a partir del minuto 11 comienza un decaimiento en la amplitud de la MMN, sin embargo, observan que pequeños descansos entre bloques hacen que se genere una recuperación de la amplitud de la onda.

Diferencias de género. Estudiar las diferencias de género y edad es necesario para una correcta descripción de los resultados cuando se utilice el registro de la MMN en el campo clínico, sin embargo, existen pocas investigaciones que evalúen cambios en la morfología de la MMN en función del género. Barrett y Fulfs (1998) reportan que las mujeres tienen una mayor amplitud en la onda MMN generada por diferencia en la intensidad del estímulo. Por su parte, Kasai et al. (2002), no encontraron diferencias de amplitud, latencia o topografía entre géneros para la MMN originada por cambios en la duración del estímulo. Sin embargo, aunque no se han reportado diferencias entre hombres y mujeres cuando la MMN se obtiene por cambios en la frecuencia tonal u otras características, parece ser que las diferencias entre géneros varían dependiendo del tipo de estímulo infrecuente.

Otras fuentes de modulación Se ha encontrado que la onda MMN disminuye su amplitud en pacientes con esquizofrenia (Oades et al., 1997). Grzella et al. (2001) muestran que la expresión de síntomas positivos correlaciona con una latencia corta de la onda MMN; mientras que la atenuación de estos síntomas resultó en un aumento en la latencia. Los autores suponen que esto se debe a dificultades de los pacientes para hacer una discriminación temporal de los estímulos.

En pacientes con alcoholismo se ha encontrado que la amplitud de este componente está dramáticamente atenuada y su latencia incrementada durante el consumo agudo y crónico de alcohol (Sánchez-Turet & Serra-Grabulosa, 2002; Polo et al., 2003).

Otros factores que podrían influir en las características de la onda MMN están relacionados con la edad de los sujetos. Oades, Dittmann-Balcar, & Zerbin (1997),

encuentran que la madurez en la topografía de la MMN se logra en el periodo de los 10 a 14 años de edad; por su parte, Amenedo y Díaz (1998), estudiaron la morfología de la onda MMN en tres grupos de edad diferentes: 23-39; 41-59 y 63-77 años, sin embargo, no encontraron diferencias en cuanto a la latencia o amplitud de la onda; estos autores concluyen que algunos procesos automáticos, como el que subyace a la MMN, tienden a permanecer estables con la edad.

2.3.3. Relación de la MMN con la Atención Selectiva

Como ya se mencionó, la MMN refleja un mecanismo de preatención o procesamiento automático, cuyo principal rasgo es que se manifiesta en ausencia de atención. Por otra parte, el procesamiento controlado tiene la característica principal de utilizar recursos de atención y se manifiesta en la realización de tareas de detección o discriminación de estímulos. Existen datos controversiales acerca de la relación entre estos dos tipos de procesamiento y, para intentar resolverla se ha registrado la onda MMN bajo condiciones de atención selectiva.

Näätänen sugiere que, dadas las características de automaticidad del componente MMN, no debería afectarse por la atención, y muchos de los estudios realizados por él y su grupo, lo han corroborado (Näätänen, 1990; Näätänen, 1991; Sams et al., 1985; Alho, 1992; Alho et al., 1992).

En sus diseños han utilizado IEs de diferente duración (de 410 a 800 msec), en tareas de escucha dicótica, donde se centra la atención en uno de los canales auditivos, así como también utilizando diseños en los que se compara la onda MMN generada por estímulos auditivos durante la resolución de tareas visuales y auditivas, sin embargo, no han encontrado diferencias significativas en las características de la MMN, al compararlas con condiciones de escucha pasiva.

Sin embargo, Woldorff, Hackley y Hillyard (1991), sustentan otra postura sobre la relación de la MMN y la atención. Ellos realizaron un experimento de escucha dicótica, diseñado para incrementar el grado de demanda de la atención selectiva, al disminuir el IIE a 120 msec. Utilizaron un diseño *oddball*, en el que se

atendía a uno de los canales auditivos, mientras que el otro era ignorado. Estos investigadores encontraron que la MMN generada por estímulos infrecuentes presentados en el canal no atendido se redujo marcadamente (la amplitud del pico fue menor a $1 \mu\text{v}$), en relación con la producida en el canal atendido (3 a $4 \mu\text{v}$). En conclusión, reportan que el procesamiento de estímulos en canales no atendidos podría ser atenuado en un nivel sensorial temprano, bajo condiciones de atención selectiva auditiva altamente enfocada.

La respuesta de Näätänen (1991) al trabajo anterior sostiene que, probablemente, el componente N2b era el que se afectaba por la atención, al estar sobrepuesta la parte final del componente MMNa con el inicio del N2b, no se podía realizar una medida independiente de los componentes.

Con el fin de verificar la propuesta de Näätänen, Woldorff et al. (1998) realizaron otro estudio similar al de Woldorff et al. (1991) con el agregado de la técnica de MEG, para poder determinar las fuentes neuronales de la contraparte magnética de la MMN y así obtener medidas separadas del componente MMN y N2b. Sus resultados muestran que el componente MMN (130-250 mseg) se ve afectado por la atención, a diferencia del componente N2b, por lo tanto respaldan el hallazgo anterior, de que la MMN disminuye en el canal no atendido en este tipo de tareas.

Oades y Dittmann-Balcar (1995), realizaron un estudio con el objetivo de evaluar si la onda MMN se alteraba por la atención. Ellos diseñaron un experimento en el que expusieron a los sujetos a dos condiciones: una, de escucha pasiva de tres estímulos (que variaban en frecuencia tonal) y otra, de atención a los estímulos auditivos, pero sólo respondiendo a uno de ellos. En la condición de atención se generó una onda MMN de mayor amplitud para los estímulos que no eran blanco, respecto a la condición de escucha pasiva.

En otro estudio de este mismo grupo de investigadores (Müller et al., 2002), evaluaron los efectos de la atención sobre la onda MMN registrada ante estímulos infrecuentes que cambiaban en duración (40 mseg), frecuencia tonal (500 Hz) y un estímulo novedoso (complejo), respecto del estándar (1000 Hz, 80 mseg). Registraron los

potenciales durante la ejecución de una tarea de discriminación visual simple y otra tarea de atención auditiva a uno de los estímulos infrecuentes (frecuencia tonal) mientras se presentaban los estímulos visuales. Encontraron que la MMN presentó una mayor amplitud en la condición de atención auditiva respecto a la presentada en la condición de atención visual. Además, esta diferencia se generó ante estímulos difíciles de discriminar (duración o frecuencia), y no ante estímulos fáciles de discriminar (estímulos complejos). Estos autores repitieron el experimento en los mismos sujetos 4 semanas después de la primera evaluación, encontrando que este aumento de amplitud ya no era tan marcado, sugiriendo que la modulación de la atención sobre la MMN es bastante frágil y que disminuye con el grado de automaticidad adquirido.

Algunos estudios sobre MMN y atención han mostrado que este componente (Woldorff et al., 1991 y 1998), o uno de sus subcomponentes (Näätänen, 1991) podría aumentar por la atención enfocada, en condiciones donde los estímulos difieran en intensidad, duración o frecuencia tonal, mientras que la MMN registrada ante estímulos presentados en el canal no atendido presentaría una menor amplitud.

Por lo tanto, no existe un acuerdo sobre el efecto de la atención enfocada sobre este componente y aunque se ha medido la MMN bajo condiciones diferentes de IIE y de tipo de atención selectiva, no se han realizado diseños donde se manipule el grado de dificultad de las tareas auditivas y visuales.

El presente estudio, pretende aportar datos sobre esta discusión, y en general, sobre las teorías del procesamiento de información y la atención.

3. TRABAJO EXPERIMENTAL

3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las teorías sobre el procesamiento de información señalan que el sistema nervioso posee límites en la capacidad de seleccionar y retener información relevante (Broadbent, 1958, Schneider & Shiffrin, 1977, Shiffrin & Schneider, 1977, Treisman, 1960, 1969).

Para explicar cómo ocurre el procesamiento de información se han desarrollado diversos modelos, entre los que destaca el modelo estructural del procesamiento automático y controlado, propuesto por Shiffrin y Schneider en 1977. De acuerdo con éste, el procesamiento controlado se caracteriza principalmente por ser un proceso dirigido e intencional, emplear recursos atencivos y tener una capacidad limitada, por tanto, si el organismo realiza dos o más tareas que requieren atención, su ejecución se puede ver alterada. Por su parte, el procesamiento automático es característico de actividades que se practican de manera frecuente o por la presencia de estímulos novedosos, no requiere el empleo de recursos atencivos ni esfuerzo, permite que otras actividades que demandan atención puedan ejecutarse sin interferencia y se puede presentar con niveles bajos de alertamiento.

Hasta donde se sabe, el procesamiento controlado y el procesamiento automático están sustentados por sistemas neuronales con componentes ubicados en diferentes regiones del sistema nervioso y los mecanismos neurofisiológicos implicados pueden ser diversos (Picton & Hillyard, 1974; Näätänen & Picton, 1987; Jemel et al., 2002; Jemel et al., 2003).

Una de las principales controversias relacionadas con estas dos formas de procesamiento se refiere a la interacción que pudiera ocurrir entre ellas. Algunos autores proponen que ambos procesos se desarrollan en paralelo, sin que se presente interferencia entre ellos; otros sugieren que el procesamiento automático puede interferir sobre el procesamiento controlado, como ocurre en el efecto Stroop (Cohen, 1993) o que el procesamiento controlado puede interferir sobre el

automático, como los cambios que se presentan en la onda MMN ante tareas de escucha dicótica (Woldorff et al., 1991).

Una manera de estudiar la interacción entre las dos formas de procesamiento es mediante el análisis de los marcadores electrofisiológicos relacionados con ambos procesos. El procesamiento controlado se asocia con variaciones en los componentes N1 y P300 (Meneses, 2001), mientras que el marcador electrofisiológico del procesamiento automático es la onda MMN (Näätänen, 1978, 1991).

Algunos autores han encontrado cambios en la amplitud de la onda MMN producida por incrementos en la atención selectiva, proponiendo que el procesamiento controlado puede interactuar con el procesamiento automático (Woldorff et al., 1991; Woldorff et al., 1998; Oades & Dittmann-Balcar, 1995).

Sin embargo, otros investigadores han reportado que la MMN no se afecta por la atención controlada, lo cual sugiere que se trata de procesos independientes (Näätänen, 1991, Paavilainen et al., 1993, Näätänen et al., 1993, Sams et al., 1985, Alho et al., 1994).

Observamos, entonces, que en la literatura hay datos discrepantes respecto al efecto que puede tener la atención sobre la generación de la onda MMN, algunos autores reportan un efecto facilitador cuando se atiende a los estímulos, pero en otros trabajos se ha reportado que la onda MMN no sufre cambio alguno.

Con los datos actuales es difícil concluir si la generación de la MMN, relacionada con el procesamiento automático, se afecta o no por el procesamiento controlado. Por ello, decidimos examinar variaciones en esta onda empleando un modelo que nos permitiera evaluar diferentes condiciones, intra e intermodales, que pudiesen afectarla.

En particular, nos interesó saber si la onda MMN sufría cambios por la atención enfocada en la misma modalidad, por ello registramos esta onda en una condición

en la que los estímulos auditivos se procesaban de forma controlada.

Además, quisimos investigar si la atención dirigida hacia estímulos visuales modificaba el procesamiento automático de estímulos auditivos, para ello aplicamos tareas de atención visual con diferente grado de dificultad y evaluamos los cambios en la generación de la onda la MMN ante estímulos auditivos. Pensamos que este diseño nos proporciona información sobre la interacción de los mecanismos del procesamiento de información automático y controlado.

3.2. OBJETIVOS

3.2.1. Objetivo General

Determinar el efecto del procesamiento controlado intra e intermodal sobre el procesamiento automático de estímulos auditivos, evaluado a través de la MMN.

3.2.2. Objetivos Específicos

1. Evaluar los cambios que se presentan en la onda MMN, generada por estímulos auditivos infrecuentes que varían en el grado de discriminación respecto al estímulo frecuente, en una condición en la que los sujetos no ejecutan ninguna tarea.
2. Establecer el efecto de la atención controlada auditiva sobre la generación de la onda MMN, producida por estímulos auditivos con distinto grado de discriminación.
3. Determinar si la onda MMN producida por estímulos auditivos, presenta cambios durante la ejecución de tareas de atención visual que poseen distinto nivel de dificultad.

3.3. HIPÓTESIS

1. Respecto al primer objetivo específico proponemos que la onda MMN, generada por estímulos auditivos infrecuentes de fácil discriminación, tendrá una mayor

amplitud y menor latencia, respecto de la generada por estímulos infrecuentes que sean más difíciles de discriminar.

2. Dada la naturaleza automática de la onda MMN, se espera que ésta no se modifique por la atención a estímulos auditivos.

3. Si los tipos de procesamiento controlado y automático se ejecutan en paralelo y de manera independiente, se esperaría que durante la realización de tareas de atención visual, la onda MMN generada por estímulos auditivos no se modifique, independientemente de la complejidad de la tarea visual.

3.4. MÉTODO

3.4.1. Participantes

Participaron 15 adultos del sexo masculino, con edades comprendidas entre los 19 y 26 años; diestros y sin antecedentes de problemas auditivos, daño cerebral o consumo de drogas que afectaran al sistema nervioso.

Con el fin de descartar a sujetos con alteraciones auditivas, a los participantes se les practicó una audiometría, para ello utilizamos un estimulador auditivo Grass modelo S10 CTCM y audífonos David Clarck modelo 27. Todos ellos presentaron umbrales auditivos iguales o menores de 30 dB SPL, ante la presentación de tonos puros de 500, 1000 y 2000 Hz.

3.4.2. Estímulos y tareas

En este estudio utilizamos un diseño de medidas repetidas. Cada sujeto realizó cuatro tareas diferentes, una de discriminación auditiva y tres de discriminación visual; además, como control, se presentó una secuencia de estímulos auditivos, durante la cual se le pidió al sujeto que dirigiera su mirada a un punto de fijación, haciendo caso omiso de los sonidos. Los estímulos auditivos y visuales se presentaron por medio del programa EsVis 1.03 (Zarabozo, 2002), empleando una computadora

Pentium III.

Estímulos auditivos

Las características de los estímulos auditivos fueron las siguientes:

Estímulo estándar: Consistió en un tono puro de 1000 Hz, con una intensidad de 60 dB SPL, que se presentó con una probabilidad de 0.8.

Estímulos infrecuentes: Estos consistieron en tonos puros de 1025, 1050 y 1100 Hz, con la misma intensidad del estímulo estándar. Cada uno se presentó con una probabilidad de 0.066.

Estos estímulos se presentaron por medio de audífonos David Clarck modelo 27. El intervalo interestímulo fue de 1 seg y cada uno de los estímulos tuvo una duración de 50 msec (incluyendo 10 msec de *rise-fall*).

En cada condición experimental se presentaron 900 estímulos auditivos: 720 correspondientes al estímulo estándar (1000 Hz), y 60 de cada uno de los estímulos infrecuentes (1025, 1050 y 1100 Hz).

Estímulos visuales y tareas de atención visual

Cada participante realizó tres tareas de atención visual (pruebas de ejecución continua CPT) (Rosvold et al., 1956, Cornblatt et al., 1988; Keilp et al., 1997).

Las tareas de ejecución continua (CPTx, CPTax y CPTxx) consistieron en la presentación de estímulos visuales de color amarillo (letras del alfabeto de la "A" a la "Y"), que fueron proyectados en el centro del monitor de una computadora sobre un fondo negro. Los estímulos se presentaron a una distancia de 60 cms respecto del sujeto y tuvieron un tamaño de 26 mm x 28 mm, subtendiendo un ángulo horizontal de 2.4° y un ángulo vertical de 2.6°. Cada estímulo tuvo una duración de 50 msec y el IIE fue de 1 seg. En cada tarea (CPTx, CPTax y CPTxx) se presentaron 900 estímulos,

de los cuales 165 eran estímulos prueba ($p= 0.18$). Los estímulos se presentaron de manera aleatoria con la restricción de no presentar dos estímulos prueba de manera consecutiva.

La diferencia entre cada tarea radicó en la naturaleza del estímulo prueba, al que el sujeto debía responder oprimiendo el botón izquierdo del ratón.

CPTx: En esta tarea, el participante tenía que oprimir el botón cada vez que se presentaba la letra "X".

CPTax: El participante oprimía el botón cada vez que aparecía el estímulo "X", únicamente si había sido precedido del estímulo "A".

CPTxx: En esta tarea, el participante oprimía el botón cada vez que aparecía un estímulo, sólo si éste había sido precedido por un estímulo igual.

Antes de la ejecución de cada tarea se llevó a cabo una sesión de entrenamiento para corroborar que el sujeto había entendido las instrucciones.

Cada tarea tuvo una duración de 15 minutos. Durante la ejecución de cada tarea, se presentó simultáneamente una secuencia de estímulos auditivos (ya descritos) a la que el sujeto no debía atender.

3.4.3. Condiciones Experimentales

Condición Control

Se le presentó la secuencia de estímulos auditivos al participante, instruyéndolo para que mantuviera su vista en un punto de fijación, en el centro de la pantalla, haciendo caso omiso a los estímulos. En esta condición no se presentaron estímulos visuales.

Condición Atención auditiva

Al participante se le presentó la secuencia de estímulos auditivos y se le pidió que

oprimiera un botón cuando detectara la aparición de cualquiera de los estímulos auditivos infrecuentes. En esta condición tampoco se presentaron los estímulos visuales.

Condiciones Atención visual - tareas CPT

Le presentamos a los sujetos las tareas de ejecución continua (CPTx, CPTax y CPTxx) y se les pidió que enfocaran su atención en la tarea visual, sin atender a los estímulos auditivos.

Los estímulos auditivos (tonos) y visuales (letras), se presentaron de forma alternada con un intervalo entre ellos de 500 mseg (figura 7).

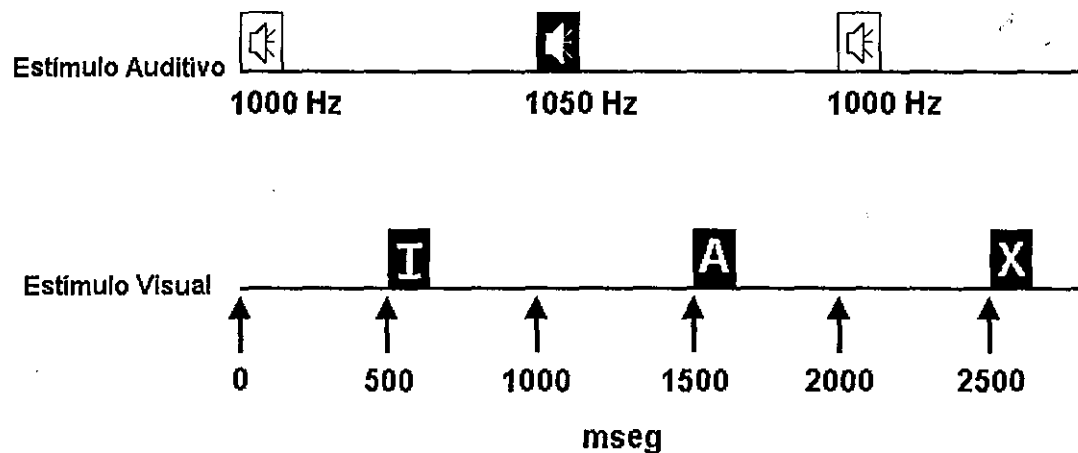


Figura 7. Orden de presentación de los estímulos en las condiciones de atención visual.

3.4.4. Registro electrofisiológico

Para el registro de los potenciales eléctricos cerebrales colocamos electrodos de oro, de acuerdo con el Sistema Internacional 10/20, en las zonas: Fz, Cz, Pz y Oz, tomando como referencia la punta de la nariz; también registramos el movimiento ocular con dos electrodos colocados en el canto superior interno y en el canto inferior externo del ojo izquierdo y, como tierra, se utilizó un electrodo en la frente. Se emplearon filtros analógicos con frecuencias de corte en 0.3 y 100 Hz. La actividad eléctrica cerebral se registró con un polígrafo Grass Modelo 79, de 8 canales.

La captura y el análisis de las señales electrofisiológicas se realizaron a través de un

computador Pentium I con un convertidor A/D de 12 bits, empleando el programa CAPTUSEN (Guevara et al., 2000).

Para el registro de los potenciales eléctricos cerebrales producidos por los estímulos auditivos, se utilizó una ventana de registro de 600 mseg de duración, que incluyó 100 mseg preestímulo (para calcular la línea de base) y 500 mseg posteriores al inicio del estímulo auditivo, utilizando una frecuencia de muestreo de 256 Hz, (Figura 8).

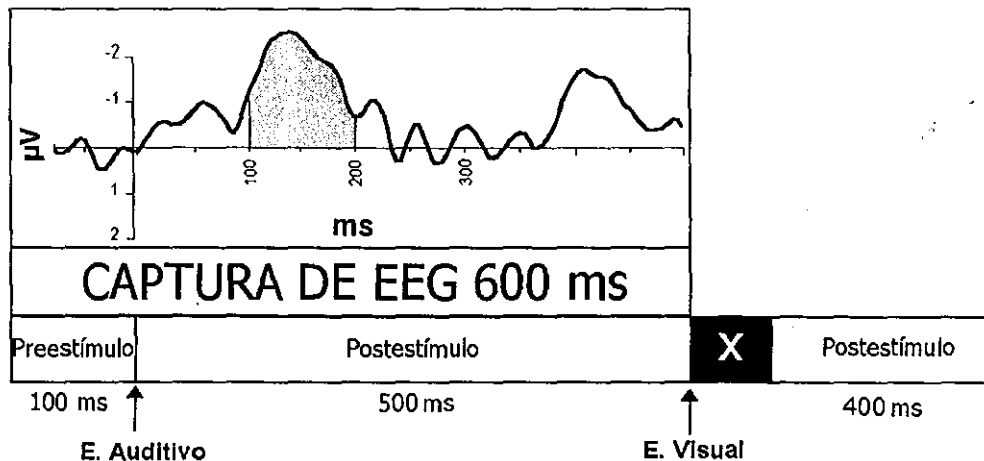


Figura 8. Ventana de captura de los potenciales producidos por el estímulo auditivo.

3.4.5. Procedimiento

Una vez que colocamos los electrodos a los sujetos les aplicamos las distintas condiciones experimentales de acuerdo con el siguiente orden:

ORDEN DE PRESENTACIÓN DE LAS CONDICIONES					
	1	2	3	4	5
S1-S5	CPTx	CPTax	CPTxx	Control	Audi
S6-S10	CPTxx	CPTx	CPTax	Control	Audi
S11-S15	CPTax	CPTxx	CPTx	Control	Audi

S=sujeto Audi= atención auditiva.

Las condiciones se presentaron en dicho orden para evitar que el conocimiento previo de la tarea y de los estímulos pudiese hacer que, durante las pruebas de

atención visual o durante la condición control, los sujetos trataran de atender a los estímulos auditivos.

La duración de cada condición fue de 15 minutos y se dejaron 5 minutos de descanso entre ellas.

En cada una de las condiciones experimentales se instruyó a los participantes para que mantuvieran la vista fija en un punto colocado en el centro de la pantalla y que no hiciera movimientos que pudieran causar artefactos en el registro.

3.4.6. Análisis de los PREs

Se separaron los segmentos de EEG que correspondían a los estímulos infrecuentes (1025, 1050 y 1100 Hz; 60 de cada uno) y estándar (1000 Hz; 720 estímulos). Mediante inspección visual se seleccionaron segmentos libres de artefactos, igualando el número de potenciales en cada condición. Posteriormente, se promediaron por separado los potenciales correspondientes al estímulo estándar y cada uno de los estímulos infrecuentes, para luego filtrar del promedio las frecuencias mayores de 30 Hz, para ello se utilizó el programa FILDIG (Guevara, 1991).

Finalmente, para obtener la onda MMN, al potencial promediado de cada estímulo infrecuente le restamos el potencial promediado del estímulo frecuente, obteniendo así las ondas de diferencia.

De las ondas de diferencia evaluamos la latencia del pico de mayor amplitud, en el rango de latencia entre los 100 y 200 mseg, así como el área alrededor de este pico, en una ventana de 40 mseg, correspondientes a la onda MMN.

3.4.7. Análisis de la ejecución de tareas

En la tarea de atención auditiva evaluamos el número de aciertos y el tiempo de reacción para cada tono infrecuente.

En las tareas de atención visual cuantificamos el número de comisiones (respuestas a un estímulo estándar), omisiones (ausencia de respuesta al estímulo prueba), respuestas tardías (respuesta al estímulo prueba que excede los 1000 mseg) y el tiempo de reacción.

3.4.8. Análisis estadístico

Tareas de atención auditiva y visual

Para evaluar las diferencias en el número de aciertos y el tiempo de reacción, entre los distintos estímulos infrecuentes en la condición de atención auditiva, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) de un factor, siendo éste el tono del estímulo infrecuente (1025, 1050 y 1100 Hz).

Por otra parte, para analizar las diferencias en la ejecución entre las tareas visuales (CPTx, CPTax y CPTxx) en las variables: número de aciertos, comisiones, omisiones y respuestas tardías, aplicamos la prueba de Friedman. Para el análisis del tiempo de reacción utilizamos un ANDEVA de un factor.

Análisis de la Onda de diferencia (MMN)

Para analizar la latencia y amplitud de la onda MMN generada en cada condición, realizamos un ANDEVA de dos factores; siendo éstos el tipo de tono infrecuente (1025, 1050 y 1100 Hz) y las condiciones experimentales (control, atención auditiva, CPTx, CPTax, CPTxx). Para evaluar los efectos simples se utilizó la prueba de Tukey. En todos los casos, el nivel de significación estadística se estableció en $p < 0.05$.

Este análisis sólo se realizó en la derivación Fz ya que en esta región fue donde se presentó la onda MMN con una mejor definición y, por otra parte, los reportes de la literatura indican que ambos componentes de la MMN (el temprano y el tardío) se manifiestan más claramente en esta región cerebral.

4. RESULTADOS

En la primera parte de este capítulo se muestran los resultados conductuales obtenidos durante la ejecución de las condiciones de atención visual CPTx, CPTax, CPTxx y atención auditiva, la segunda parte muestra los resultados electrofisiológicos primero de una manera descriptiva y, posteriormente, de forma estadística.

4.1. RESULTADOS CONDUCTUALES

4.1.1. Tarea de atención auditiva

Durante esta tarea, el sujeto debía oprimir el botón izquierdo del ratón, cuando se presentara cualquier estímulo infrecuente (1025, 1050 ó 1100 Hz) y abstenerse de hacerlo ante los estímulos frecuentes (1000 Hz). No se presentaron estímulos visuales.

Realizamos el análisis de las respuestas correctas y el tiempo de reacción (T.R.) para la prueba de discriminación auditiva (Atención auditiva). El ANDEVA mostró diferencias significativas en el número de respuestas correctas entre los distintos estímulos infrecuentes ($F(2,28)=42.88$; $p<0.01$). El análisis *a posteriori* reveló que los sujetos tuvieron una mejor detección a los estímulos de 1100 Hz y 1050 Hz y un menor número de aciertos en la discriminación del estímulo de 1025 Hz ($p<0.01$) (figura 9).

La figura 10 muestra el promedio del tiempo de reacción (T.R.) ante los estímulos auditivos infrecuentes. El ANDEVA reveló diferencias significativas en el T.R. entre los tonos ($F(2,28)=102.47$; $p<0.01$). Ante el tono de 1025 Hz se presentó el mayor T.R., seguido del tono de 1050 Hz, mientras que ante el tono de 1100 Hz se presentó el T.R. más corto. La prueba de Tukey mostró diferencias significativas entre los distintos tonos ($p<0.01$ en todos los casos).

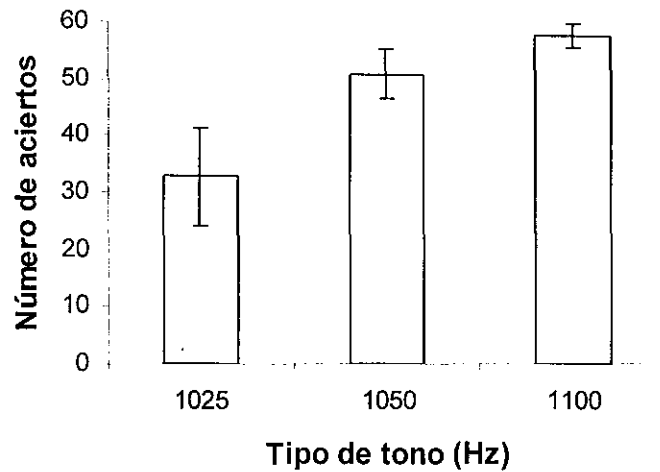


Figura 9. Promedio del número de aciertos (± 2 ES) ante los estímulos auditivos infrecuentes de 1025, 1050 y 1100 Hz. El resultado máximo que podía obtener un sujeto era de 60 aciertos. Los sujetos tuvieron un mayor número de aciertos ante los estímulos de 1050 y 1100 Hz en comparación con las respuestas ante el estímulo de 1025 Hz.

Esto muestra que los estímulos infrecuentes tuvieron un diferente grado de dificultad en su discriminación, siendo el tono de 1100 Hz el más fácil de discriminar y el de 1025 Hz, el más difícil de discriminar, respecto al tono frecuente de 1000 Hz.

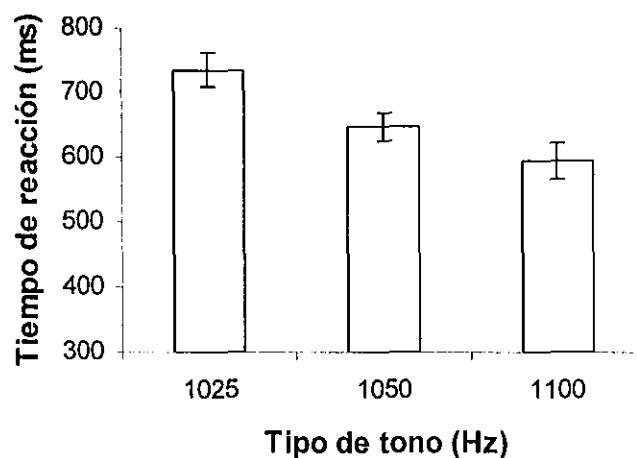


Figura 10. Promedio del T.R. (± 2 ES) empleado para responder a los estímulos infrecuentes de 1025, 1050 y 1100 Hz en la condición de atención auditiva. Los sujetos tuvieron un menor T.R. ante el estímulo de 1100 Hz, seguido por el de 1050 Hz y mostraron el mayor T.R. ante el estímulo de 1025 Hz. El estímulo estándar consistió de un tono de 1000 Hz.

4.1.2. Tareas de atención visual

En estas pruebas se presentaron estímulos visuales y auditivos simultáneamente, el sujeto debía ignorar los auditivos y responder ante un estímulo prueba visual, oprimiendo el botón izquierdo del ratón cada vez que dicho estímulo se presentara. Analizamos el número de errores (comisiones, omisiones y respuestas tardías) y el T.R. en cada una de las pruebas de atención controlada visual (CPTx, CPTax y CPTxx).

La prueba de Friedman sólo mostró diferencias significativas entre las tareas en el número de omisiones ($Q=19.75$; $p<0.0001$) y el número de respuestas tardías ($Q=12.133$; $p=0.0023$). El análisis *a posteriori* con la prueba de Wilcoxon mostró que los sujetos cometen mayor cantidad de omisiones y respuestas tardías en la prueba CPTxx comparada con la prueba CPTx y CPTax ($p<0.01$ en todos los casos) (figura 11).

En cuanto al T.R., el ANDEVA mostró diferencias significativas entre las tres tareas ($F(2,28)=97.75$; $p<0.001$); se observó una velocidad de respuesta mayor en la CPTax, después en la CPTx, y por último en la CPTxx. El análisis *a posteriori* mostró diferencias significativas en el T.R. entre las tres condiciones ($p<0.01$) (Figura 12).

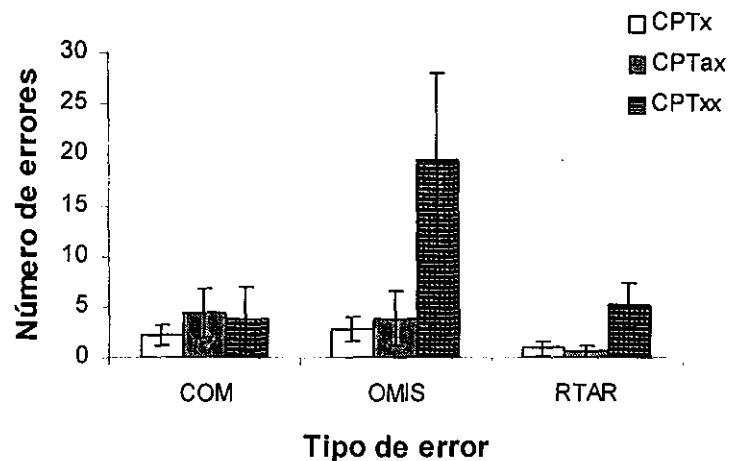


Figura 11. Promedio (± 2 ES) del número de comisiones (COM), omisiones (OMIS) y respuestas tardías (RTAR), en las pruebas CPTx, CPTax y CPTxx. En la prueba CPTxx se presentaron mayor número de omisiones y respuestas tardías que en las pruebas CPTax y CPTx.

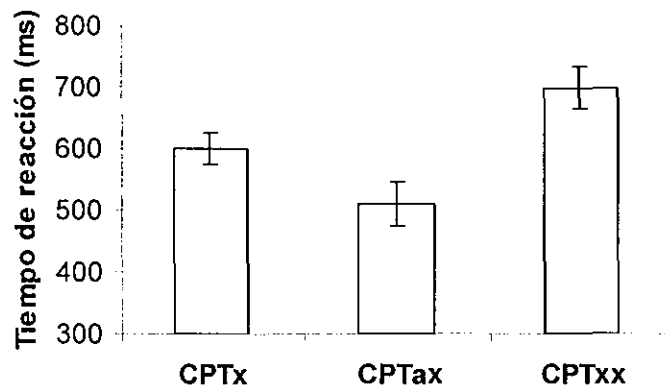


Figura 12. Promedio del T.R. (± 2 ES) en las pruebas CPTx, CPTax y CPTxx. Los sujetos mostraron un menor T.R. en la prueba CPTax, seguido de la CPTx y el mayor T.R. en la prueba CPTxx.

4.2. RESULTADOS ELECTROFISIOLÓGICOS

El análisis incluyó a 15 sujetos. Del registro de cada sujeto se tomaron los segmentos libres de artefactos, obtuvimos los promedios para cada condición (control, atención auditiva y atención visual: CPTx, CPTax y CPTxx) y para cada tipo de estímulo auditivo (frecuente: 1000 Hz, e infrecuentes: 1025, 1050 y 1100 Hz). Posteriormente, se obtuvieron las ondas de diferencia (restando al potencial producido por los estímulos infrecuentes, el potencial generado por el estímulo frecuente). Finalmente evaluamos la amplitud (promedio alrededor del pico máximo ± 20 mseg) y la latencia de la onda MMN. Con estos valores realizamos un ANDEVA de dos factores: Condiciones (control, atención auditiva y las tres condiciones de atención visual: CPTx, CPTax y CPTxx) y tipo de estímulo infrecuente (1025, 1050 y 1100 Hz).

4.2.1. Morfología de los PREs

En la figura 13 mostramos los grandes promedios de los potenciales registrados en las zonas Fz, Cz y Pz en la condición control. Ante el estímulo frecuente solamente se presentaron los componentes P50, N1 y P2, mientras que ante los estímulos infrecuentes, además de los componentes anteriores, se generaron las ondas N2 y P3.

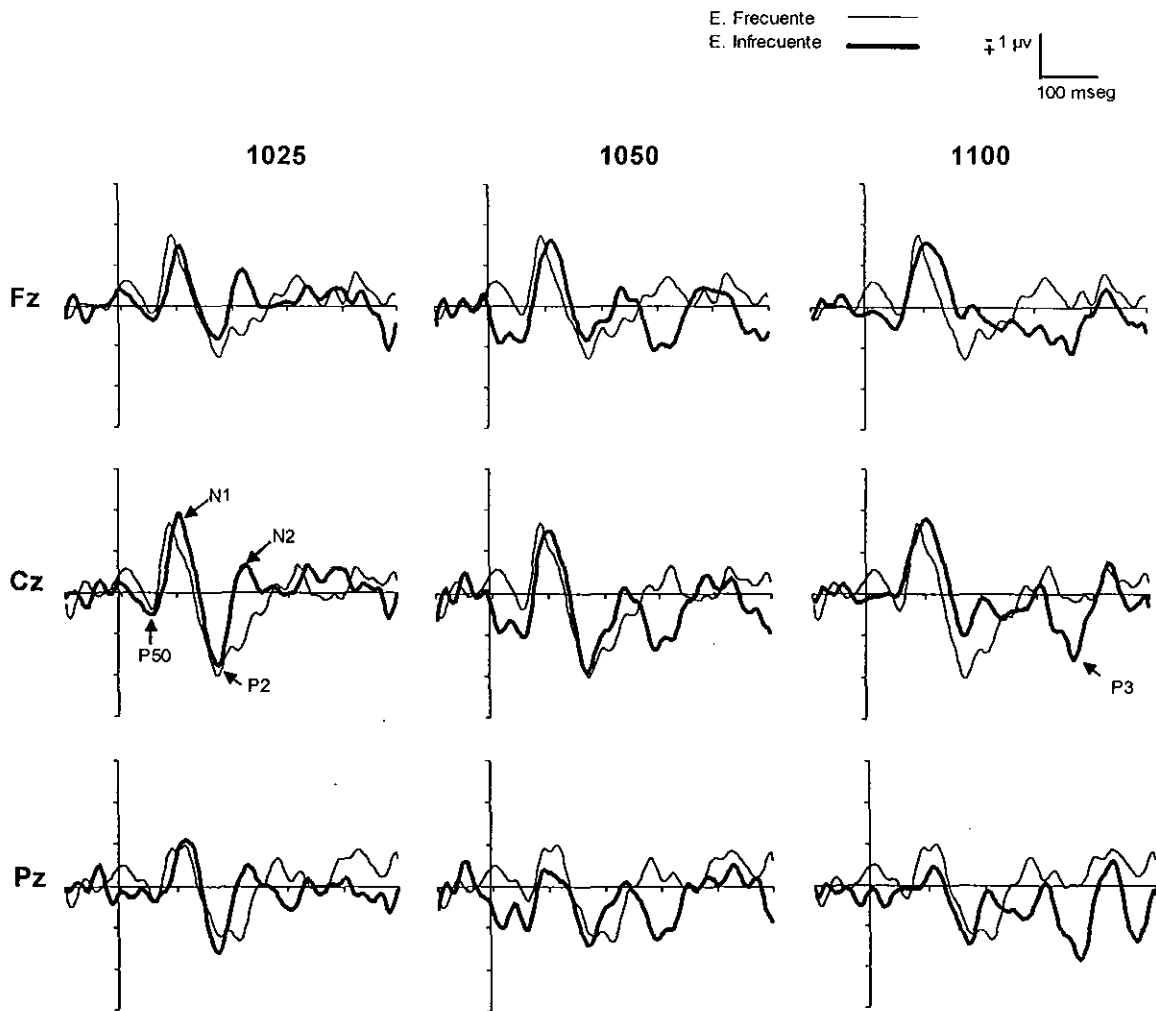


Figura 13. Grandes promedios registrados en la condición Control (sin atención), en las zonas Fz, Cz y Pz para el estímulo frecuente, 1000 Hz (línea delgada) y para los tres tipos de estímulo infrecuente, 1025, 1050 y 1100 Hz (línea gruesa). Se pueden identificar los componentes P50, N1, N2, P2 y P3.

Los componentes P2 y N2 redujeron su amplitud en función del grado de discriminación del estímulo infrecuente, mientras que la onda P3 manifestó un comportamiento inverso, es decir, se presentó con una mayor amplitud ante los estímulos de mayor discriminación (1050 y 1100 Hz).

Los componentes N1, P2 y N2 presentaron una mayor amplitud en las zonas Fz y Cz, mientras que el componente P3 se presentó con una mayor amplitud en las zonas Cz y Pz.

En la figura 14 vemos que en la condición de atención auditiva se presentó la misma morfología que la observada en la condición control, sin embargo, ante los estímulos

infrecuentes se presentó un incremento gradual de los componentes N1, N2 y P3 en función del grado de discriminación de los estímulos infrecuentes.

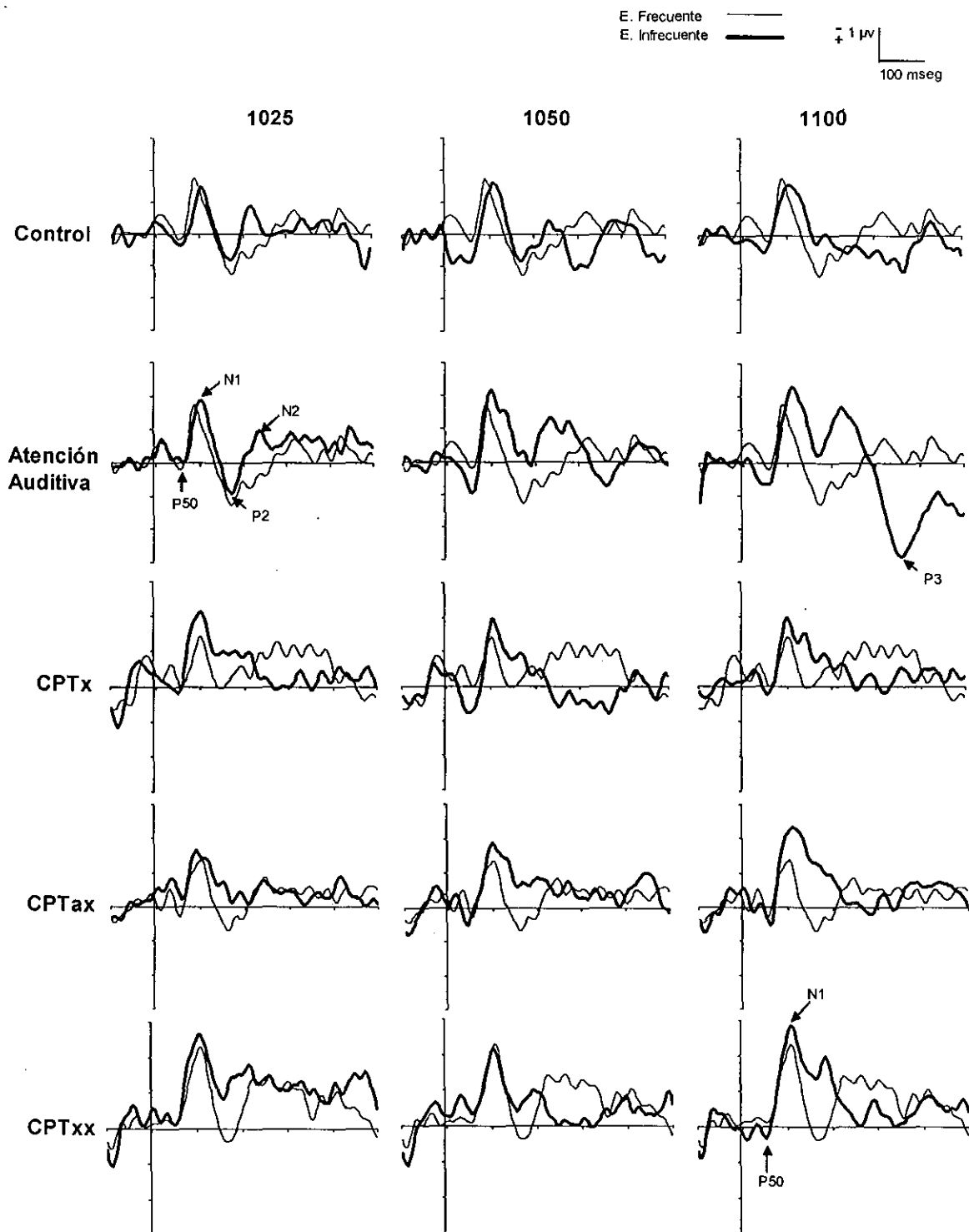


Figura 14. Grandes promedios registrados en la zona Fz, en las condiciones Control (sin atención), Atención auditiva, y en las condiciones de atención visual (CPTx, CPTax y CPTxx). La línea delgada representa la respuesta obtenida ante el estímulo frecuente (1000 Hz) y las líneas gruesas las respuestas producidas por los estímulos infrecuentes (1025, 1050 y 1100 Hz). Se pueden identificar los componentes P50, N1, P2, N2 y P3.

En las condiciones de atención visual sólo se presentaron los componentes P50 y N1. La onda N1 mostró una mayor amplitud durante la ejecución de la tarea de atención visual de mayor grado de dificultad (CPTxx), éste incremento se presentó tanto ante el estímulo frecuente como ante los estímulos infrecuentes.

Durante la ejecución de las tareas CPTx y CPTax no se presentaron los componentes N2 y P3 ante ninguno de los estímulos (frecuente e infrecuentes).

4.2.2. Análisis de la onda MMN

Con el fin de responder a los objetivos específicos que nos planteamos en esta investigación, a continuación presentamos una descripción de los resultados por cada una de las condiciones experimentales y, posteriormente, los resultados derivados del análisis estadístico.

Condición Control. En esta condición el sujeto debía ignorar los estímulos auditivos y mantener su mirada en un punto de fijación. La figura 15-A, muestra los grandes promedios generados en esta condición en la zona Fz. Se observan los componentes P50, N1, P2, N2 y P3, éste último, presentó su mayor amplitud ante el estímulo de 1100 Hz, seguido por el de 1050 Hz, sin embargo ante el estímulo de 1025 Hz no se generó esta onda.

Respecto al análisis de las ondas de diferencia (figura 15-B), encontramos que el estímulo de 1100 Hz generó una onda MMN de mayor amplitud que la generada para los otros dos estímulos.

La figura 16 muestra las ondas de diferencia obtenidas en la condición control en las zonas Fz, Cz y Pz. Se puede observar que dichas ondas presentan una negatividad entre los 100 y 250 mseg, seguida de una positividad que se presenta entre los 250 y 400 mseg.

La parte inicial de la negatividad, entre los 100 y 200 mseg abarca a los componentes N1 y P2; mientras que la negatividad que se presenta más tardía

(entre 200 y 250 msec) corresponde al componente N2. De acuerdo con la literatura, la parte inicial de esta negatividad representaría a la onda MMN, mientras que la parte tardía representa al componente N2b. La positividad que se observa posteriormente corresponde al componente P3.

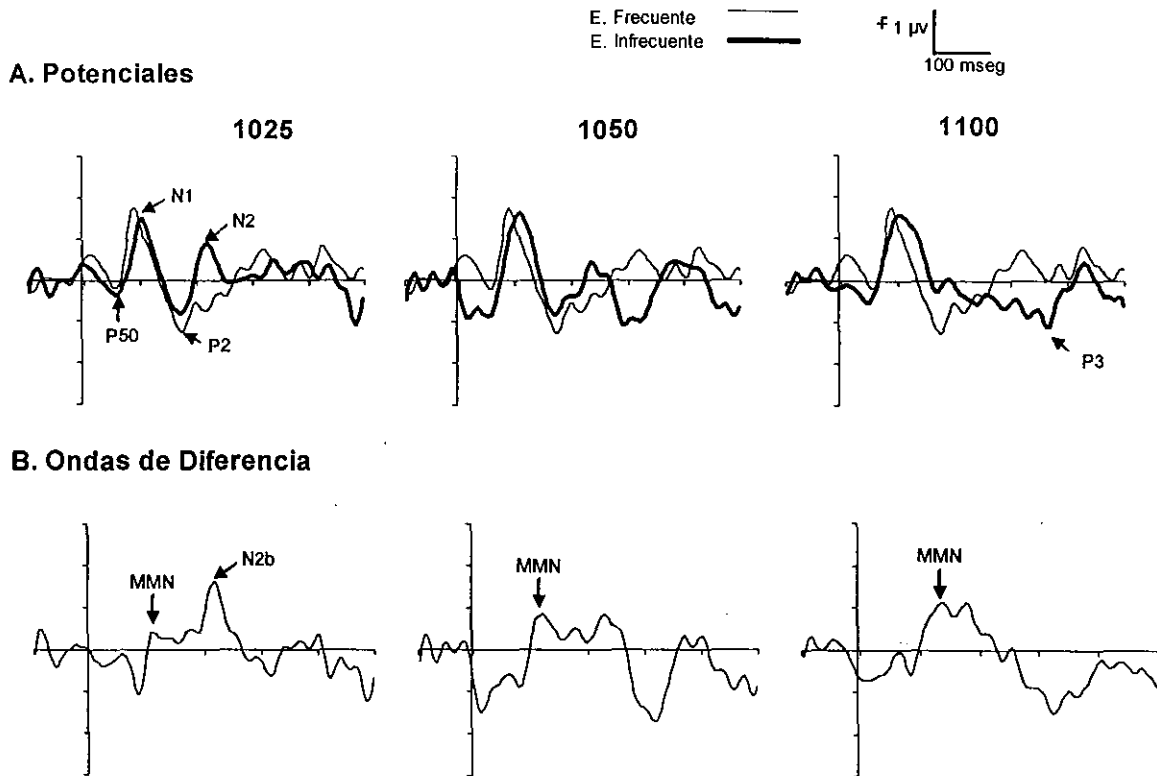


Figura 15. Se grafican los datos de la zona Fz, para la condición control. En (A) se presentan los potenciales del estímulo frecuente de 1000 Hz (línea delgada) y del estímulo infrecuente (línea gruesa). En (B) se muestran las ondas de diferencia (estímulo infrecuente menos estímulo frecuente).

Como era de esperarse, los componentes MMN y N2b presentan una mayor amplitud en las regiones Fz y Cz, mientras que la positividad relacionada con la onda P3 presenta una mayor amplitud en la región Pz.

En virtud de que el interés de este trabajo se centra en el procesamiento automático, reflejado en la onda MMN, y que este componente presenta una mayor amplitud en regiones frontales, el análisis se enfocó en esa región cerebral.

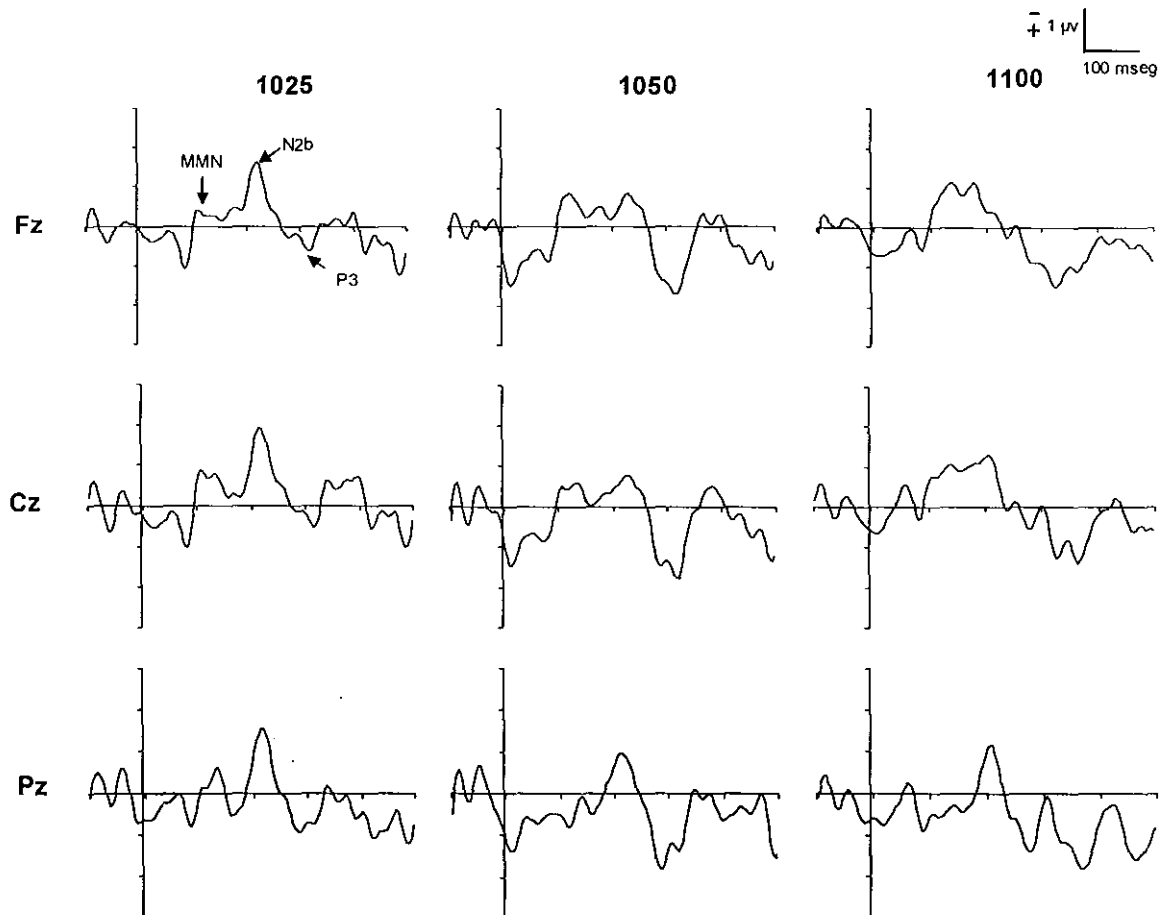


Figura 16. Ondas de diferencia (estímulo infrecuente menos estímulo frecuente) en la condición Control (sin atención), en las zonas Fz, Cz y Pz para los tres tipos de estímulo infrecuente.

Condición Atención auditiva. Esta tarea se diseñó con el objetivo de analizar el efecto del procesamiento controlado de estímulos auditivos, sobre la onda MMN (ante la ausencia de estímulos visuales). Los potenciales producidos por los estímulos infrecuentes presentaron los componentes P50, N1, P2, N2 y P3, éste último mostró una mayor amplitud ante el estímulo de 1100 Hz (figura 17-A).

Por otra parte en la figura 17-B observamos que, en la condición de atención auditiva, se generaron dos componentes negativos, uno temprano (MMN) entre los 100 y 200 mseg, el cual se ha relacionado con el mecanismo automático de detección de cambios, y el tardío (N2b), entre los 200 y 300 mseg, relacionado con el reflejo de orientación y la discriminación del estímulo. Podemos observar que el estímulo de 1025 Hz generó una onda MMN de menor amplitud que la generada por el estímulo de 1050 y 1100 Hz.

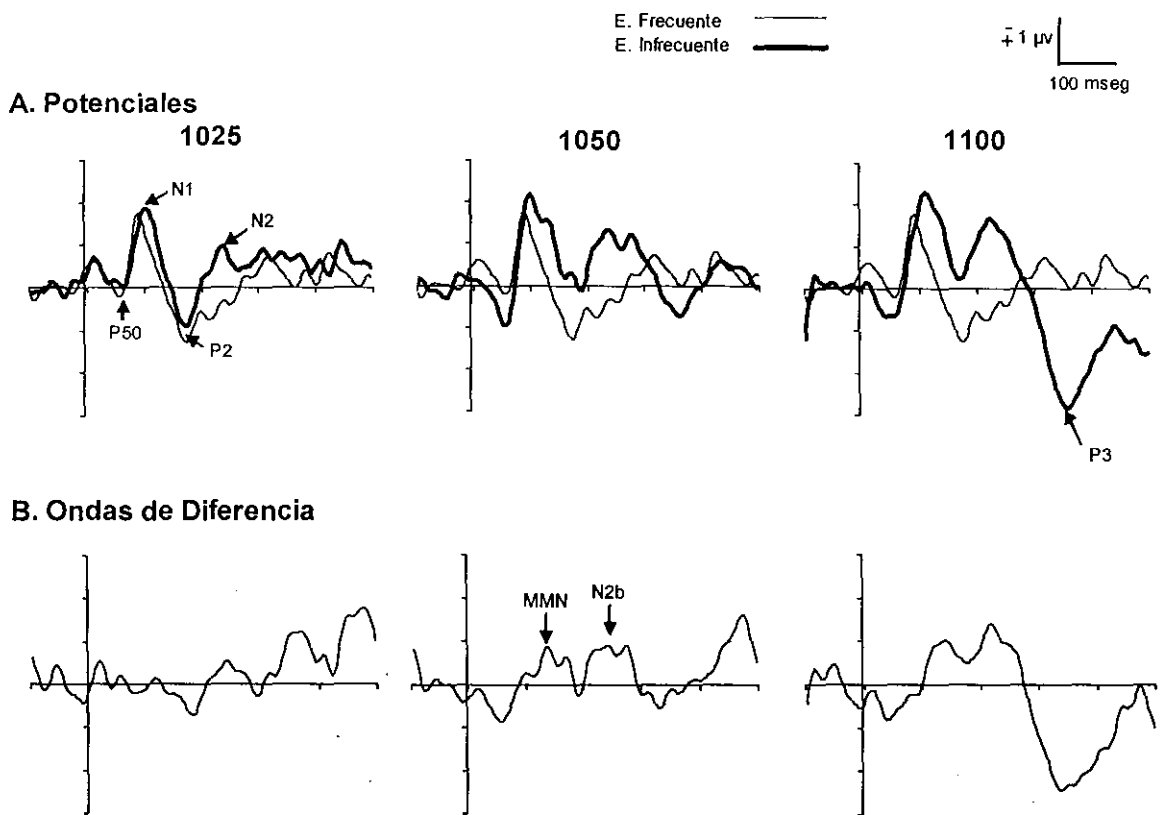


Figura 17. Se grafican los datos de la zona Fz, para la condición atención auditiva. En (A) se presentan los potenciales del estímulo frecuente de 1000 Hz (línea delgada) y del estímulo infrecuente (línea gruesa). En (B) se muestran las ondas de diferencia (estímulo infrecuente menos estímulo frecuente).

Encontramos que la onda MMN tiene una amplitud similar en las condiciones control y atención auditiva (Figura 18).

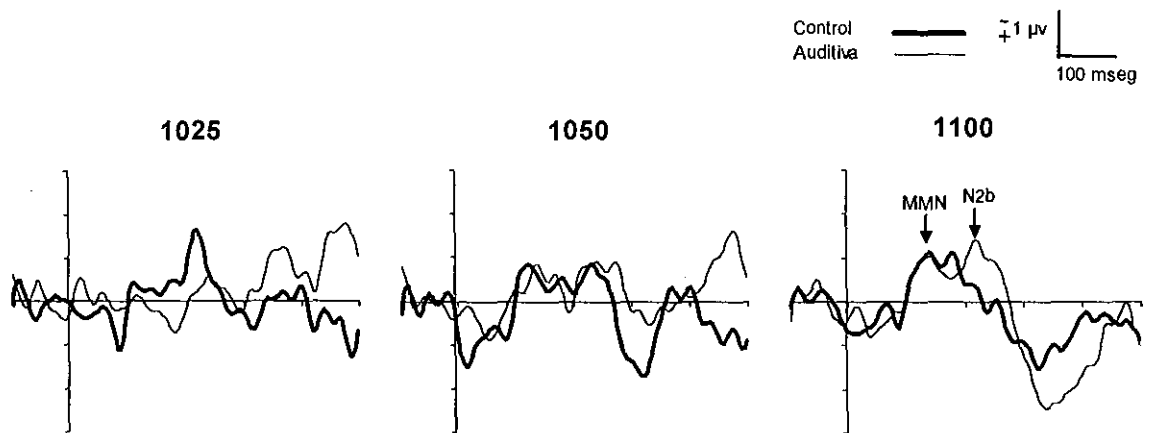


Figura 18. Se compara las ondas de diferencia en la zona Fz para las condiciones control (línea gruesa) y atención auditiva (línea delgada), y los tres estímulos infrecuentes. No se observan diferencias en la amplitud entre estas condiciones.

Condiciones de atención visual. Con el objetivo de saber si existía una interferencia de la atención en la modalidad visual sobre la detección automática de estímulos auditivos, registramos los potenciales auditivos, obtenidos ante la presentación de tonos infrecuentes con distinto grado de discriminación (1025, 1050 y 1100 Hz), durante la ejecución de tres tareas visuales de procesamiento controlado: CPTx, CPTax y CPTxx.

En la figura 14 (pág. 49) se presentan los potenciales obtenidos en estas condiciones, en la zona Fz, para los estímulos frecuente y los tres estímulos infrecuentes. Observamos que, en general, el componente N1 registró una mayor amplitud ante el estímulo de más fácil discriminación (1100 Hz). En ninguna de las condiciones se presentaron los componentes N2 y P3.

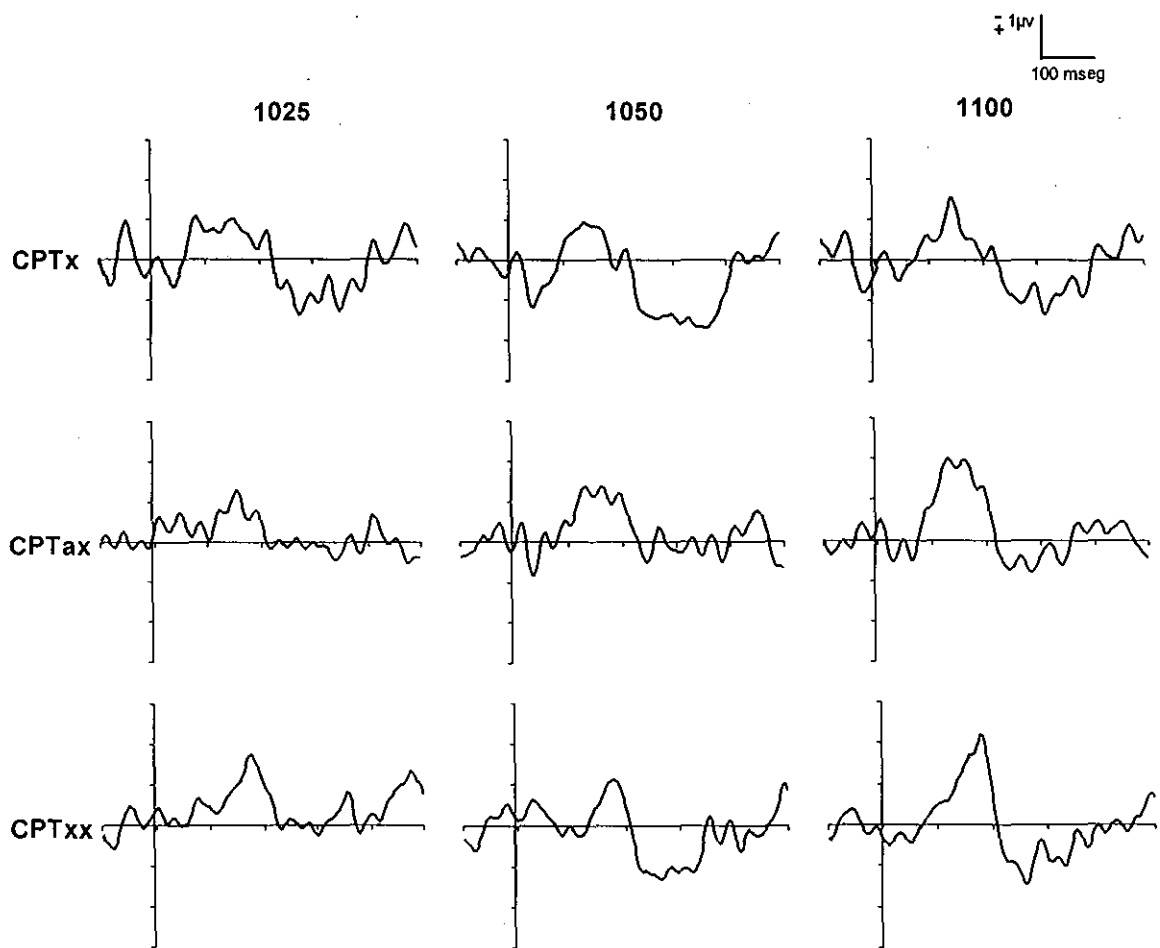


Figura 19. Ondas de diferencia registradas en la zona Fz, ante los estímulos auditivos (1025, 1050 y 100 Hz) en las condiciones de atención visual (CPTx, CPTax y CPTxx). No se observaron diferencias significativas entre estas condiciones.

Por su parte, en la figura 19 se muestran las ondas de diferencia, para cada tipo de estímulo infrecuente en las tres condiciones de atención visual. Se presenta sólo una negatividad de 100 a 200 msec correspondiente a la MMN, mientras que en la latencia de 200 a 300 msec no se observa el componente N2b.

Cuando comparamos las ondas de diferencia obtenidas en las condiciones de atención visual (CPTx, CPTax y CPTxx), con la generada en la condición control, no observamos diferencias significativas entre estas condiciones (figura 20).

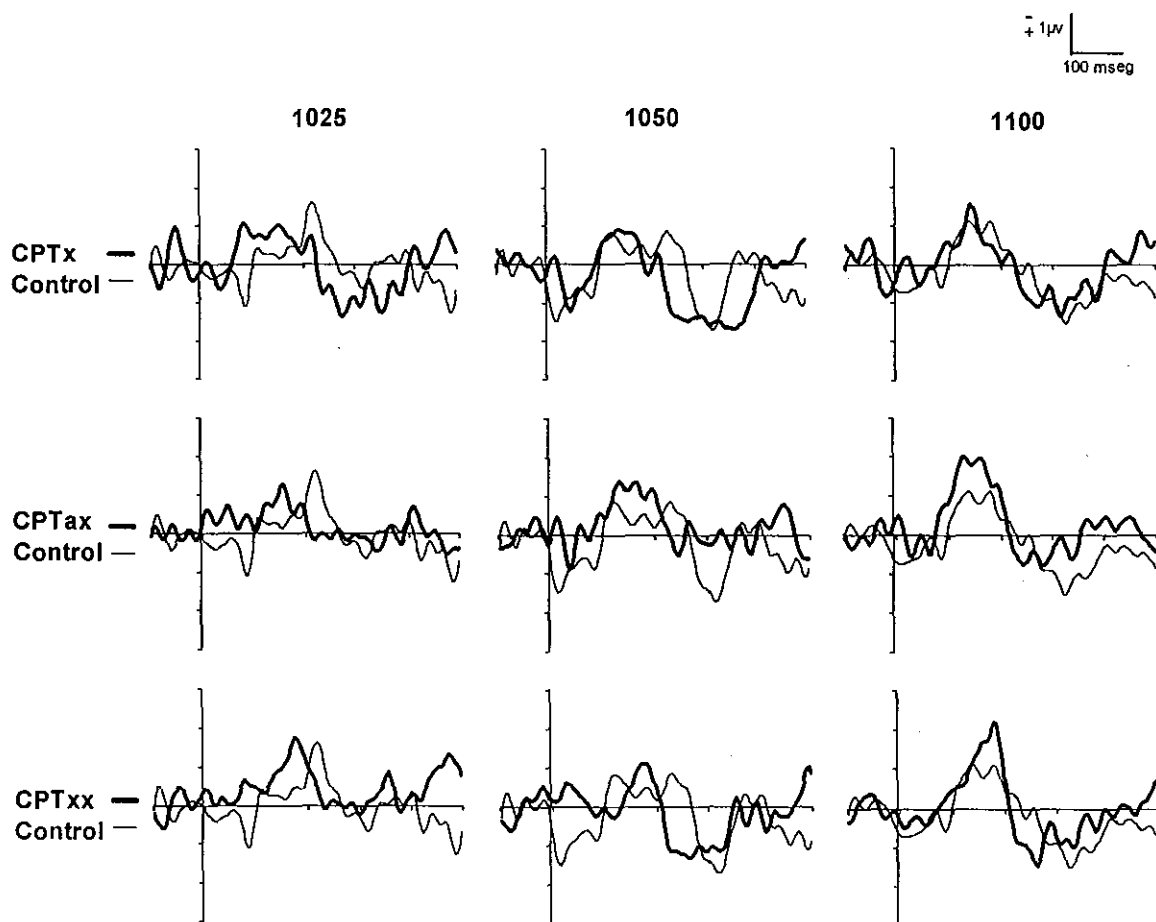


Figura 20. Comparación de las ondas de diferencia de las condiciones de atención visual (línea gruesa) y control (línea delgada), en la zona Fz, para todos los estímulos infrecuentes.

Finalmente, comparamos los resultados de la onda MMN presentados bajo las condiciones de procesamiento controlado visual con los resultados obtenidos en la condición de atención auditiva (figura 21); observamos que en las condiciones de atención visual se generó un potencial de mayor amplitud que en la situación de atención auditiva.

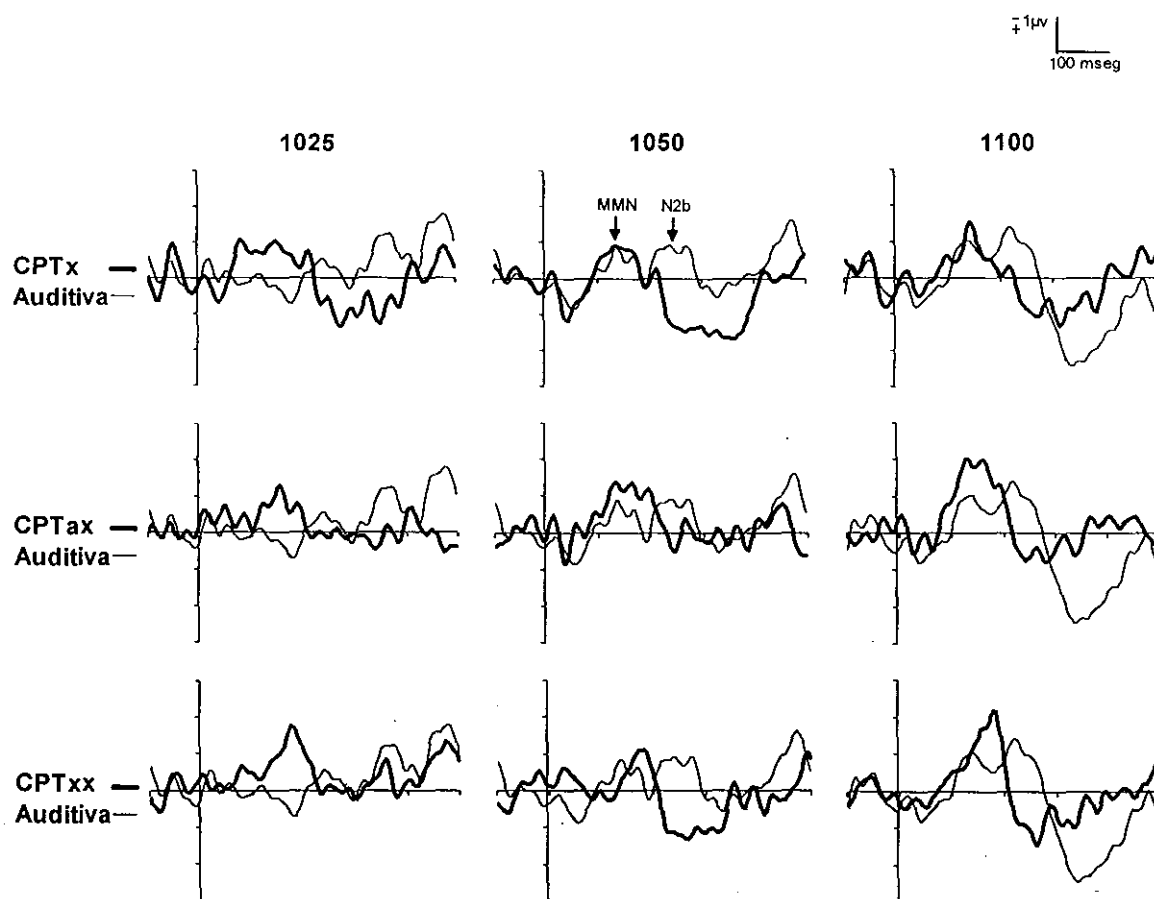


Figura 21. Comparación de las ondas de diferencia de las condiciones de atención visual (línea gruesa) y atención auditiva (línea delgada), en la zona Fz, para todos los estímulos infrecuentes.

Con el fin de evaluar cuantitativamente las diferencias en la onda MMN entre las distintas condiciones experimentales localizamos, para cada sujeto, el punto de mayor amplitud de la onda, en el rango de 100 a 200 mseg, y calculamos el área alrededor del pico, utilizando una ventana de 40 mseg. Con los valores obtenidos de amplitud y latencia realizamos un ANDEVA de dos factores (condiciones por tipo de estímulo infrecuente).

Por lo que respecta a la amplitud de la MMN, encontramos diferencias estadísticamente significativas en el factor condiciones ($F(4,196)= 3.44$; $p<0.01$), el análisis *a posteriori* mostró que la amplitud de la onda MMN fue menor en la condición de atención auditiva respecto a las condiciones de atención visual CPTax y CPTxx ($p<0.05$ en ambos casos) (figura 22-A). También en el factor tipo de tono infrecuente ($F(2,196)= 3.67$; $p<0.05$) el análisis *a posteriori* reveló que ante el tono de

1025 Hz se generó una MMN de menor amplitud respecto a la generada ante el tono de 1100 Hz ($p < 0.05$) (figura 22-B). No se presentaron diferencias significativas en la interacción (Figura 22-C).

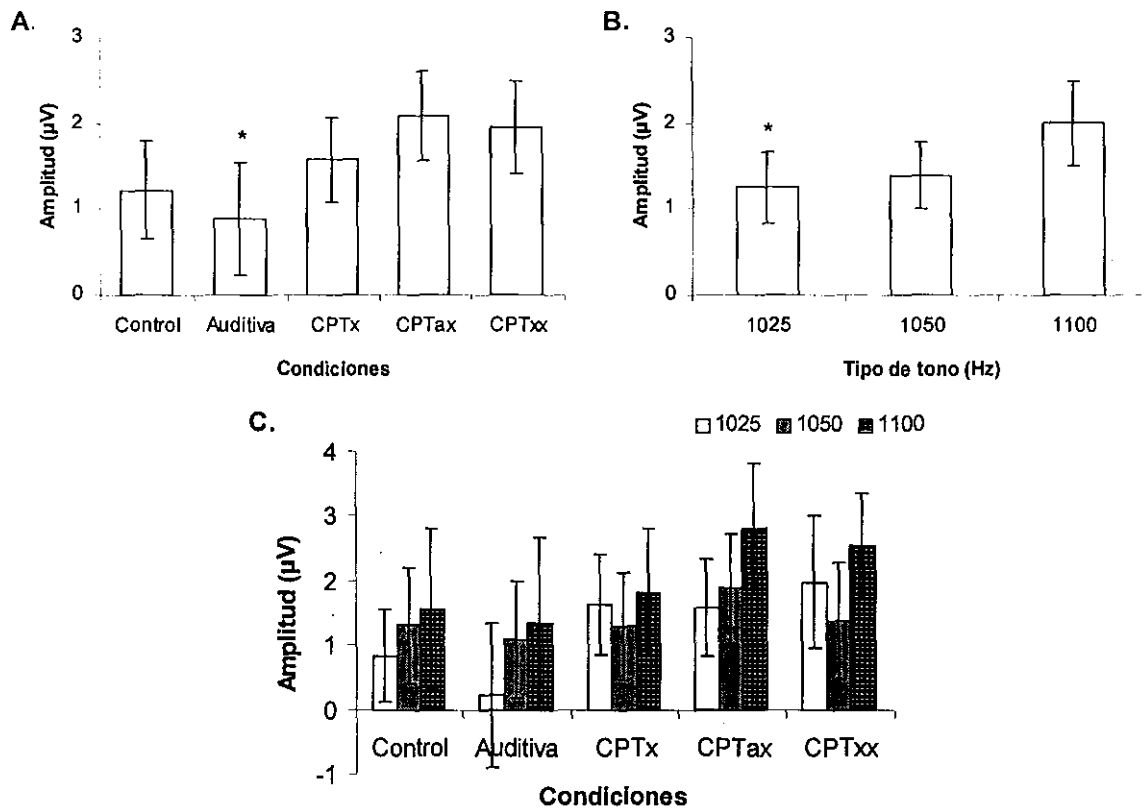


Figura 22. Se grafica, en (A), la amplitud de la onda MMN obtenida en todas las condiciones experimentales, se observa que la condición de atención auditiva generó una onda MMN de menor amplitud que en las condiciones CPTax y CPTxx; en (B), la amplitud para cada tipo de estímulo infrecuente, se observa que la MMN generada por el estímulo de 1025 Hz presentó una menor amplitud que la presentada ante el estímulo de 1100 Hz y en (C) la amplitud para cada tono en todas las condiciones. Las barras de error se grafican con ± 2 ES.

En cuanto a la latencia del pico de máxima amplitud de la MMN, encontramos diferencias estadísticamente significativas en el factor condiciones ($F(4,196) = 7.92$; $p < 0.0001$), el análisis *a posteriori* mostró que la latencia en la condición de atención auditiva fue menor que la presentada en las demás condiciones y que la latencia de la condición CPTx fue menor que la presentada en la CPTxx ($p < 0.05$ en todos los casos) (figura 23-A). No se presentaron diferencias significativas en el factor tipo de tono, ni en la interacción (figura 23-B y 23-C).

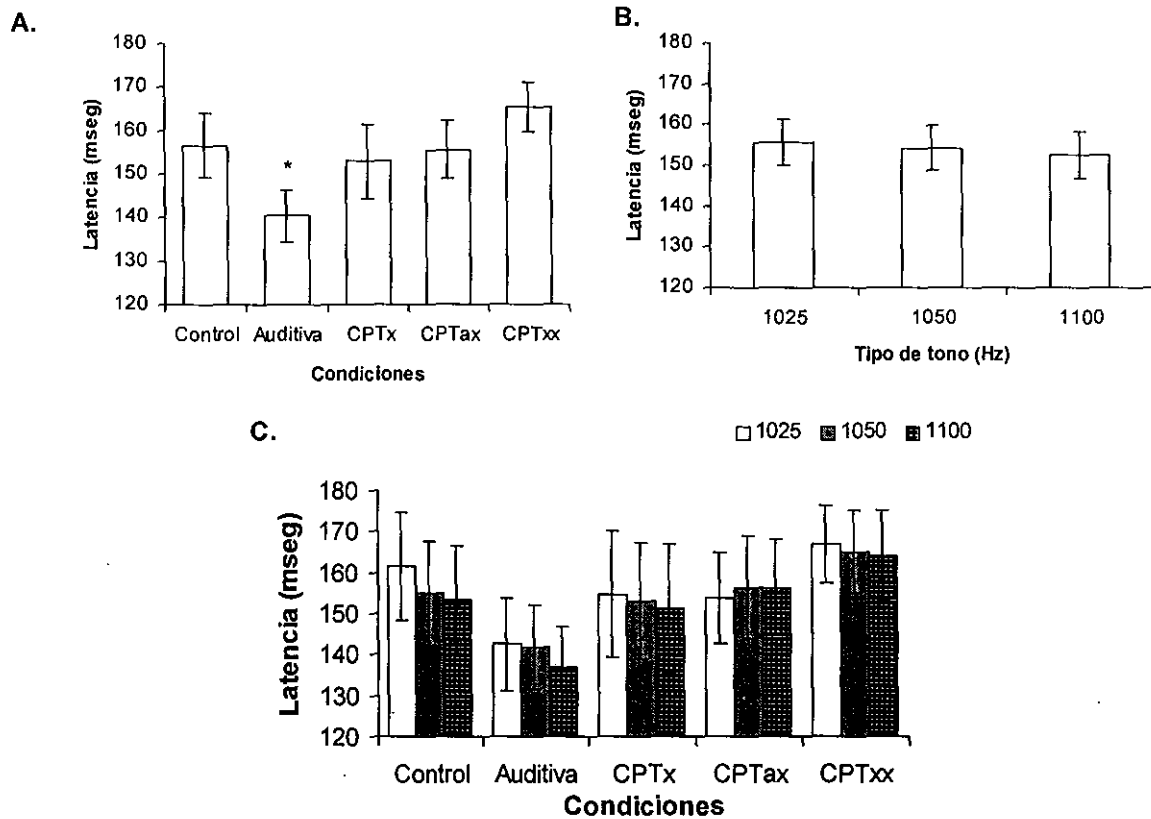


Figura 23. Se grafica, en (A), la latencia de la onda MMN obtenida en todas las condiciones experimentales, se observa que la condición de atención auditiva generó una MMN de menor latencia que en las demás condiciones, y que en la condición CPTx se generó una MMN de menor latencia que la observada en la condición CPTxx; en (B), la latencia para cada tipo de estímulo infrecuente, y en (C) la latencia para cada tono en cada condición. Las barras de error se grafican con ± 2 ES.

4.3. RESUMEN DE RESULTADOS

El análisis de la ejecución de tareas reveló que:

- 1) Al comparar el T.R. ante los estímulos auditivos se mostró que cada estímulo tenía un diferente grado de dificultad: el de 1100 fue más fácil de discriminar y el de 1025 Hz el más difícil. En cuanto al número de aciertos, se observó que los sujetos tuvieron un pobre desempeño ante el estímulo de 1025Hz, al compararlo con los estímulos de 1050 y 1100 Hz.
- 2) Que el T.R. fue menor ante la tarea CPTax, seguido por la tarea CPTx; el mayor T.R. se obtuvo ante la condición CPTxx.

3) Además, los sujetos tuvieron un mayor número de omisiones y de respuestas tardías en la ejecución de la tarea CPTxx en comparación con las tareas CPTx y CPTax.

Respecto al análisis de la onda MMN se observó que:

- 1) Encontramos que la amplitud de la MMN se incrementó en función del grado de discriminación del estímulo infrecuente.
- 2) En la condición de atención auditiva se generó una onda MMN similar a la registrada en la condición control, salvo que esta última presentó una mayor latencia.
- 3) La ejecución de tareas de atención visual produjo una onda MMN similar a la registrada en la situación control
- 4) la latencia de la onda MMN durante la ejecución de la tarea CPTx fue menor que la generada durante la CPTxx.
- 5) En la condición de atención auditiva se generaron ondas de menor latencia y amplitud respecto a las situaciones de atención visual.

5. DISCUSIÓN

El objetivo general de esta investigación fue estudiar el efecto del procesamiento controlado sobre el procesamiento automático. Para ello registramos la onda MMN generada por estímulos auditivos (tonos puros) que se presentaron con una baja probabilidad, los cuales diferían del estímulo frecuente en un grado variable. El registro de esta onda lo realizamos bajo tres condiciones experimentales: la primera, consistió en una condición control, en la cual los sujetos no atendían a los estímulos auditivos; en la segunda, les pedimos que atendieran a los estímulos auditivos y emitieran una respuesta ante la presencia de los estímulos infrecuentes y, en la tercera, registramos la onda MMN, producida por estímulos auditivos, mientras los sujetos ejecutaban una tarea de atención visual.

Los resultados mostraron que, en las tres condiciones experimentales, la amplitud de la onda MMN se incrementó en función del grado de discriminación de los estímulos infrecuentes. Por otra parte, no se presentaron diferencias en la amplitud de este componente entre las condiciones control y aquellas en las que los sujetos atendían a los estímulos auditivos o realizaban la tarea de atención visual. A continuación presentaremos la discusión de los resultados más relevantes.

Efecto del grado de discriminación de los estímulos sobre la onda MMN

Se ha reportado que la presencia de un estímulo novedoso en el ambiente produce cambios en diversos componentes de los PREs. Snyder y Hillyard (1976) reportaron un incremento en la amplitud de los componentes del potencial que se presenta entre los 160 y 280 mseg (N2-P3a), y asociaron esta respuesta a la activación de un sistema neuronal implicado en la detección de disparidades en el ambiente, el cual estaría relacionado con el reflejo de orientación.

Posteriormente, Näätänen et al. (1978) reportaron que el incremento en la amplitud de una onda negativa, ubicada en el rango de latencia entre 100 y 150 mseg (N100), producido por la presentación de un estímulo novedoso, se debía a la

presencia de un componente adicional, denominado la onda MMN, el cual se sobrepone a los componentes que se presentan en ese rango de latencia.

Se ha propuesto que la onda MMN se genera por la activación de un mecanismo neuronal que detecta la disparidad entre estímulos, el cual opera de manera automática y no es influenciado por los procesos de atención controlada (Näätänen, 1990; 1992), por ello, nuestro primer objetivo fue averiguar si los estímulos auditivos que presentamos de manera infrecuente, los cuales poseen un distinto grado de discriminación respecto del estímulo estándar, generaban cambios en la amplitud y latencia de la onda MMN. Nuestra intención, al utilizar tres estímulos con distinto nivel de discriminación, fue determinar las condiciones específicas bajo las cuales el efecto del procesamiento controlado sobre el automático fuese significativo.

Los resultados mostraron que la amplitud de la onda MMN se incrementó en forma proporcional a la diferencia entre el estímulo estándar (1000 Hz) y los estímulos infrecuentes (1025, 1050 y 1100 Hz). En otras palabras, el tono de 1025 Hz produjo una onda MMN de baja amplitud, en contraste, el tono de 1100 Hz produjo la MMN de mayor amplitud.

De manera similar, Sams et al. (1985) reportaron que estímulos muy difíciles de discriminar (1000 vs. 1004 Hz) no generan la onda MMN, sin embargo, ésta se presenta cuando se llega al umbral de discriminación (1000 vs. 1008 Hz) y aumenta su amplitud en función del grado de diferencia del estímulo infrecuente.

Se ha reportado que la máxima amplitud de la onda MMN se alcanza cuando la diferencia, en frecuencia o intensidad, entre el estímulo estándar y el raro es del 10% o más (Näätänen, 1992).

De acuerdo con varios autores, la aplicación repetida de un estímulo genera un trazo de memoria con las características físicas del mismo (frecuencia, intensidad, duración, etc.) (Kujala & Näätänen, 2003). Por otra parte, cuando se presenta un estímulo que difiere en alguna de esas características, mientras el trazo de memoria

continúa presente, se activa un sistema neuronal implicado en la detección de discrepancias, el cual sería el responsable de la generación del componente MMN (Näätänen, Brattico & Tervaniemi, 2003).

Con base en nuestros resultados podríamos afirmar que el incremento en la amplitud de la onda MMN, que se presentó en forma gradual en función del nivel de discriminación del estímulo infrecuente, pudiera reflejar la proporción de neuronas activadas en este sistema responsable de la detección de discrepancias en el ambiente.

De esta manera, podríamos esperar que, si el grado de discrepancia del estímulo es lo suficientemente alto, el nivel de activación de este sistema se incrementaría, produciendo así el reflejo de orientación.

Otra posible explicación del incremento que encontramos en la amplitud de la onda MMN ante los estímulos de más fácil discriminación, estaría relacionada con la sobreposición del componente MMN con la onda N100.

En varios trabajos se ha reportado que, cuando se incrementa la diferencia entre el estímulo estándar y el estímulo infrecuente, se reduce la latencia de la MMN (Duncan & Kaye, 1987; Näätänen & Gaillard, 1983; Näätänen et al., 1982) y, además, se presenta un aumento en la amplitud y duración de este componente (Näätänen, 1985). A partir de estos datos, Näätänen y Gaillard (1983) concluyeron que la detección de estímulos infrecuentes, que difieren en distinto grado respecto al estímulo frecuente, correlaciona mejor con variaciones en la latencia de la onda MMN que con su amplitud, ya que ésta tiende a saturarse con magnitudes moderadas en la desviación del estímulo infrecuente.

De este modo, el incremento en la amplitud del componente MMN, que se presenta en forma gradual en función del grado de discriminación del estímulo infrecuente, pudiera estar asociado con la reducción en la latencia de la MMN, lo que origina una sobreposición temporal con la onda N100, produciendo un incremento en la amplitud en ese rango de latencia.

Sin embargo, el hecho de que en este trabajo no hayamos encontrado diferencias en la latencia de la MMN ante los estímulos de 1025, 1050 y 1100 Hz, nos permite afirmar que los cambios en la amplitud, encontrados entre los distintos tonos infrecuentes, se deben a un incremento en el nivel de activación de los sistemas neuronales implicados en la generación de la onda MMN y no debido a un artefacto producido por la sobreposición de otros componentes.

En resumen, la onda MMN se produce cuando se presenta una disparidad en el ambiente y, mientras mayor sea ésta, la proporción de neuronas activadas en el sistema detector de discrepancias se incrementará en forma paulatina hasta alcanzar un nivel en el cual desencadena el reflejo de orientación y la detección consciente de los estímulos novedosos.

Näätänen et al. (1978) sugirieron que la MMN reflejaba un proceso de discriminación auditiva, el cual tenía lugar en la corteza temporal. Posteriormente, se propuso que éste componente reflejaba la activación de al menos dos generadores (Näätänen & Michie, 1979; Näätänen, 1992), el primero se localiza en la corteza temporal, y se asocia con un mecanismo de facilitación sensorial relacionado con la detección preconsciente de la desviación en las características del estímulo, mientras que el segundo generador se localiza en la corteza frontal, y ha sido asociado con la representación del trazo en la memoria sensorial y la activación del reflejo de orientación.

Efecto del procesamiento controlado auditivo sobre la onda MMN

En esta condición el participante debía atender a los estímulos auditivos y oprimir un botón cada vez que escuchara alguno de los estímulos infrecuentes (1025, 1050 y 1100 Hz). El objetivo fue averiguar si el procesamiento controlado, en la misma modalidad sensorial, producía cambios en el componente MMN respecto al generado en una condición control, en la cual los sujetos no atendían a los estímulos auditivos.

Si la onda MMN estuviese modulada por procesos relacionados con la atención hubiéramos esperado que se produjera una disminución en la latencia o un incremento en su amplitud, respecto a la registrada en la condición control.

En esta condición, además del registro de la onda MMN, evaluamos el nivel de detección de los sujetos a la presentación de los estímulos infrecuentes. Encontramos que ante los estímulos de 1100 y 1050 Hz se presentó un mayor número de aciertos, en comparación con el estímulo de 1025 Hz. En cuanto al tiempo de reacción encontramos que los sujetos respondieron con mayor rapidez a los estímulos de 1100 Hz, después ante el de 1050 Hz. y, finalmente, ante el estímulo de 1025 Hz.

Por lo que respecta a los datos electrofisiológicos, encontramos que todos los estímulos (frecuentes e infrecuentes) generaron los componentes P50, N1 y P2, lo cual refleja el carácter exógeno de los mismos.

Por otra parte, el componente N2 se presentó ante los tres estímulos infrecuentes, y la onda P3 sólo se presentó ante los estímulos infrecuentes de 1050 y 1100 Hz. La morfología de estos componentes corresponde a lo reportado en diversos trabajos, en los que se ha descrito que el componente P3 generalmente es precedido por la onda N2 (Cohen, 1993), ésta última ha sido asociada al reflejo de orientación hacia los estímulos novedosos, mientras que la P3 se asociaría con el significado o relevancia del estímulo para el sujeto (Hillyard & Picton, 1987).

Cuando analizamos las ondas de diferencia, encontramos que la onda MMN y la onda N2b se presentaron con una mayor amplitud en la zona Fz. Esta distribución regional ha sido descrita en otros estudios (Näätänen, 1978, 1992).

Al comparar la amplitud de las ondas MMN generadas en la condición de atención auditiva con la condición control, no encontramos diferencias significativas entre ellas.

Esto concuerda con el modelo de Shiffrin y Schneider (1977), quienes postulan dos vías de procesamiento de estímulos en paralelo, una controlada, de capacidad limitada y otra automática, que no demanda recursos de atención. En este caso, encontramos que, a pesar de que los participantes están ejecutando una tarea consciente y que demanda recursos de atención, el mecanismo de disparidad automática continúa operando en paralelo. Es por ello que se sigue generando la onda MMN de manera similar que en la condición control.

El grupo de Näätänen ha realizado diversos trabajos en los cuales no se han encontrado cambios en la onda MMN asociados con la atención auditiva (Näätänen, Paavilainen et al., 1993; Paavilainen, Tiitinen, Alho & Näätänen, 1993). A partir de estos datos se ha propuesto que este componente se genera de manera automática al detectarse un cambio en las propiedades del estímulo y se relaciona con el procesamiento automático de la información, el cual opera de manera independiente a los procesos de atención (Näätänen, 1992).

Estos resultados contrastan con hallazgos donde se reporta que, en tareas de escucha dicótica, en las que se presentan tasas muy altas de estimulación, la onda MMN generada por cambios en la intensidad presenta una mayor amplitud cuando se atiende a los estímulos infrecuentes (Woldorff, Hackley & Hillyard, 1991; Woldorff, Hillyard, et al., 1998). Estos autores proponen que la modulación de la amplitud de la MMN se debe a la activación de un sistema neuronal asociado con la selección temprana de la información sensorial, sugiriendo que el procesamiento controlado interfiere sobre el automático.

Sin embargo, una explicación alternativa propuesta por Näätänen (1991) sostiene que los cambios en la onda MMN, reportados por Woldorff, se debía a variaciones en el componente N2b que, al presentar una menor latencia en la condición de atención, se sobreponía con la onda MMN; por tal motivo, se sostiene que la MMN no es modulada por la atención.

También se ha propuesto que la MMN producida por cambios de intensidad, que fue la condición experimental utilizada por Woldorff, fuese más susceptible a

variaciones asociadas con la atención, que la generada por cambios en la frecuencia (Näätänen, Paavilainen et al., 1993). Al respecto, algunos autores afirman que podrían existir diferentes generadores corticales para las ondas MMN producidas por cambios en la frecuencia, intensidad y duración de los estímulos auditivos (Alho, 1992; Escera et al., 1998; Yago et al., 2001).

Se ha encontrado que la MMN generada ante cambios en frecuencia, duración e intensidad, difieren notablemente en la topografía de la onda, teniendo la MMN por duración una distribución más frontal con poca inversión en la polaridad en sitios posteriores, mientras que la MMN generada por cambios en frecuencia presenta un componente negativo de baja amplitud en la región frontal y una polaridad positiva en áreas posteriores (Escera, Corral & Yago, 2002), lo cual está de acuerdo con lo reportado en otros estudios que han sugerido que la detección de cambios de las diferentes características de los estímulos auditivos se realiza por distintas poblaciones neuronales (Giard, Lavikainen, Reinikainen et al., 1995, citado en Escera, Corral & Yago, 2002).

Evidencias a favor de esta idea provienen de estudios en los que se ha registrado la actividad unitaria de neuronas localizadas en la corteza auditiva, los cuales han reportado la presencia de células que responden de manera selectiva a ciertos tonos o duraciones específicas del estímulo (He, Hashikawa, Ojima & Kinouchi, 1997, citado en Escera, Corral & Yago, 2002; Kelly, 1990; Kelly, 1991).

Otra posibilidad que pudiera explicar las discrepancias entre nuestros resultados y aquellos reportados por Woldorff, estaría asociada con las diferencias metodológicas utilizadas. Woldorff y colaboradores emplearon una tarea de escucha dicótica, en contraposición con la presentación binaural que nosotros utilizamos, además, ellos utilizaron una tasa alta de estimulación, lo cual incrementa considerablemente la dificultad de la tarea. De manera que esta condición experimental genera una competencia entre los dos canales por el uso de recursos de atención y un aumento en el nivel de dificultad de la tarea.

Por otra parte, en nuestro estudio encontramos que la onda generada en la condición de atención auditiva tuvo una latencia más temprana que la generada en la condición control. Aunque no hemos encontrado estudios que reporten comparaciones de latencia, creemos que la menor latencia encontrada pudiera estar asociada con un incremento en el nivel de alertamiento o una facilitación otorgada por la atención enfocada en ese canal, lo cual facilitaría el procesamiento de información, a diferencia de la condición control, en la que el alertamiento pudiera estar disminuido o que no se emplearan recursos de atención en la detección de discrepancias.

Efecto del procesamiento controlado visual sobre la onda MMN

Con el objeto de evaluar si el empleo de recursos de atención hacia otra modalidad sensorial producía cambios en el procesamiento automático de estímulos auditivos, registramos la onda MMN ante estímulos que variaban en frecuencia respecto al estímulo estándar, mientras los sujetos ejecutaban tareas de detección de estímulos visuales con distinto nivel de dificultad.

Con estas condiciones buscábamos averiguar, por una parte, si había interferencia del procesamiento controlado visual sobre el procesamiento automático auditivo y, en caso de haber interferencia, establecer si la diferente complejidad de las tareas visuales afectaba al procesamiento automático de estímulos auditivos.

Si el procesamiento automático de estímulos auditivos fuese modulado por procesos relacionados con la atención, esperábamos que, al utilizarse mayores recursos en la ejecución de la tarea de detección de estímulos visuales, se presentara un decremento en la amplitud del componente MMN producido por los estímulos auditivos.

Los resultados mostraron que, a diferencia de la condición control y de la condición de atención auditiva, únicamente se generaron los componentes P50 y N1.

Por otra parte, no encontramos diferencias significativas en la latencia y amplitud de la onda MMN producida en la condición control respecto a la generada en las condiciones de procesamiento controlado visual.

En diversos trabajos se ha reportado que la atención a estímulos en la modalidad visual no afecta el procesamiento automático de las características físicas de estímulos auditivos (Alho, 1992; Alho, Woods, Algazi & Näätänen, 1992; Dittman-Balcar, Thienel & Schall, 1999). Estos autores han reportado que, independientemente de la dificultad de las tareas de atención visual, la onda MMN producida por estímulos que cambian en duración o frecuencia no modifica su amplitud ni su latencia.

De este modo tenemos que la atención enfocada en la modalidad auditiva o visual no modifica de manera significativa la expresión de la onda MMN, respecto a la registrada en la situación control. Por lo tanto, podríamos sugerir que los mecanismos particulares del procesamiento automático operan de forma paralela e independiente de los mecanismos utilizados en el procesamiento controlado, apoyando así el modelo estructural propuesto por Schneider y Shiffrin (1977).

De esta manera, la detección automática de estímulos novedosos se realiza mediante un mecanismo de procesamiento que funciona de manera automática, el cual opera en ausencia de intención, no interfiere con la ejecución de otras tareas y no necesariamente produce la detección consciente del estímulo. Esto último pudo ser corroborado en este estudio al comprobar que en la condición de atención visual, a pesar de presentarse la onda MMN, la cual es un indicador de la detección de discrepancias en el ambiente, ésta no fue acompañada por la presencia de los componentes N2 y P3b los cuales se han relacionado con la detección consciente de estímulos infrecuentes (Hillyard & Picton, 1987).

En la tarea de atención visual tampoco encontramos la presencia del componente P3a, el cual se ha asociado con procesos implicados en la orientación involuntaria hacia estímulos novedosos. De esta manera, podríamos sugerir que en realidad el componente MMN es generado por un sistema neuronal relacionado con el

procesamiento automático de la información, que no es modulado por procesos de atención, mientras que los componentes N2 y P3 se relacionan con el procesamiento controlado y muestran variaciones relacionadas con la selección activa de los estímulos del ambiente.

Finalmente, aunque no encontramos diferencias en el componente MMN entre la situación control y las condiciones de atención auditiva o visual, cuando comparamos éstas últimas encontramos que en la condición de atención auditiva se presenta una menor latencia de la MMN en comparación con las tareas de atención visual, mientras que en las condiciones de atención visual de mayor grado de dificultad (CPTax y CPTxx) se presentó una mayor amplitud de este componente.

Al respecto, se ha reportado que la amplitud de la MMN, ante estímulos que cambian en duración, es menor cuando el sujeto debe atender a tareas auditivas difíciles, en comparación a condiciones en las que el sujeto debe atender a tareas visuales difíciles (Dittmann-Balcar, Thienel & Schall 1999).

Por otra parte, se ha reportado que en tareas de escucha dicótica, no se encuentran efectos significativos de la tarea visual sobre la MMN producida por estímulos auditivos, e incluso se ha reportado una mayor amplitud cuando la atención se dirigía al canal auditivo (Alho, Woods & Algazi 1994; Alho, Woods, Algazi & Näätänen, 1992). Las diferencias metodológicas, en particular la presentación dicótica de los estímulos, pudieran explicar las diferencias encontradas respecto a nuestros resultados.

En otros estudios se ha reportado que bajo condiciones de escucha binaural como las que aplicamos en este trabajo, la amplitud de la MMN bajo condiciones de atención auditiva es mayor que bajo condiciones de atención visual, sin embargo, cuando los autores repitieron la tarea un mes no encontraron diferencias entre las condiciones de atención visual y auditiva (Müller et al., 2002).

Creemos que el incremento en la amplitud encontrada en nuestro estudio en las condiciones de atención visual, pudiera estar asociada a una facilitación generada

por un aumento en el nivel de alertamiento cuando los sujetos respondía a tareas de atención visual con un grado de dificultad mayor. Creemos que el incremento en el nivel de alertamiento afectó el mecanismo de procesamiento automático, generando una amplitud mayor de la onda MMN. Por otra parte, la diferencia en latencia podría reflejar una facilitación en el procesamiento de estímulos cuando el sujeto atiende al canal auditivo, produciendo una facilitación en la velocidad de detección.

Conclusiones y perspectivas

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del procesamiento controlado visual y auditivo sobre la onda MMN auditiva. Al respecto, y como consecuencia de los hallazgos de este estudio, pudimos determinar que:

1. El procesamiento automático de estímulos auditivos es influido por el grado de discriminación de los estímulos infrecuentes.
2. Bajo condiciones en las cuales la atención se encuentra enfocada en el canal auditivo, el mecanismo detector de disparidades continúa funcionando efectivamente. Además, observamos una facilitación relacionada a la atención que produce respuestas más rápidas de las neuronas que conforman dicho mecanismo.
3. Finalmente, encontramos que el mecanismo de procesamiento automático de estímulos auditivos opera aún cuando se esté enfocando la atención a estímulos de naturaleza visual.

Estos datos parecen confirmar que el mecanismo neuronal implicado en la detección automática de disparidades, opera en forma independiente de los procesos de atención controlada. Pensamos que la razón de esto puede encontrarse en el papel adaptativo que cumple este mecanismo; ya que de su funcionamiento efectivo podría depender la supervivencia del organismo, en virtud de que lo alertaría de cambios importantes que se presenten en el ambiente.

En estudios futuros sería importante investigar si el incremento en los recursos de atención, producido por un aumento en la frecuencia de presentación de los estímulos, modifica la expresión de la onda MMN, así como también determinar si los generadores de este componente son los mismos en las distintas condiciones experimentales.

REFERENCIAS

1. Alcaraz, V.M. (2000). *Estructura y función del sistema nervioso. Recepción sensorial y estados del organismo*. Universidad de Guadalajara.
2. Alho, K. (1992). Selective attention in auditory processing as reflected by event-related brain potentials. *Psychophysiology*, 29(3), 247-263.
3. Alho, K., Sams, M., Paavilainen, P., & Näätänen, R. (1986). Small pitch separation and the selective-attention effect on the ERP. *Psychophysiology*, 23, 189-197.
4. Alho, K., Woods, D. L., & Algazi, A. (1994). Processing of auditory stimuli during auditory and visual attention as revealed by event-related potentials. *Psychophysiology*, 31, 469-479.
5. Alho, K., Woods, D. L., Algazi, A., & Näätänen, R. (1992). Intermodal selective attention. II Effects of attentional load on processing of auditory and visual stimulus in central space. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 82, 356-368.
6. Amenedo, E., & Díaz, F. (1998). Automatic and effortful processes in auditory memory reflected by event-related potentials. Age-related findings. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 108, 361-369
7. Arnott, S. R., & Alain, C. (2002). Stepping out of the spotlight: MMN attenuation as a function of distance from the attended location. *Neuroreport* 13,(17), 2209-2212.
8. Barrett, K. A., & Fulfs, J. M. (1998). Effect of gender on the mismatch negativity auditory evoked potential. *Journal of the American Academy of Audiology*, 9,(6), 444-451
9. Bertoli, S., Heimberg, S., Smurzynski, J., & Probst, R. (2001). Mismatch negativity and psychoacoustic measures of gap detection in normally hearing subjects. *Psychophysiology*, 38, 334-342.
10. Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. New York: Pergamon Press.
11. Cirelli, C., Pompeiano, M., & Tononi, G. (1996). Neural gene expression in the waking state: a role for the locus coeruleus. *Science*, 274, 1211-1215.
12. Cohen, R. A. (1993). *The neuropsychology of attention*. New York: Plenum Press.
13. Cornblatt, B.A., Risch, N.J., Faris, G., Friedman, D., & Erlenmeyer-Kimling, L. (1988). The Continuous Performance Test, identical Pairs version (CPT-IP). I. New findings about sustained attention in normal families. *Psychiatry Research*, 26, 223-238
14. Deouell, L. Y., & Bentin, S. (1998). Variable cerebral responses to equally distinct deviance in four auditory dimensions: A mismatch negativity study. *Psychophysiology*, 35, 745-754.
15. Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention: some theoretical considerations. *Psychological Review*, 70, 80-90.
16. Dittmann-Balcar, A., Thienel, R., & Schall, U. (1999). Attention-dependent allocation of auditory processing resources as measured by mismatch negativity. *Neuroreport*, 10, 3749-3753.

17. Duncan, C. C., & Kaye, W. H. (1987). Effects of clonidine on event-related potential measures of information processing. En R. Johnson, Jr., J. W. Rohrbaugh, & Parasuraman (Eds.), *Current trends in event-related potential research* (pp. 527-531). (Supplement 40 de *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*). Amsterdam: Elsevier.
18. Escera, C., Alho, K., Winkler, I., & Näätänen, R. (1998). Neural mechanisms of involuntary attention to acoustic novelty and change. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10,(5), 590-604.
19. Escera, C., Corral, M. J., & Yago, E. (2002). An electrophysiological and behavioral investigation of involuntary attention towards auditory frequency, duration and intensity changes. *Cognitive Brain Research*, 14, 325-332.
20. Giard, M. H., Perrin, F., Pernier, J., & Bouchet, P. (1990). Brain generators implicated in processing of auditory stimulus deviance : A topographic event-related potential study. *Psychophysiology*, 27, 627-640.
21. Grzella, I, Müller, B., Oades, R., Bender, S., Schall, U., Zerbin, D., Wolstein, J. & Sartory, G. (2001). Novelty-elicited mismatch negativity in patients with schizophrenia on admission and discharge. *Journal of Psychiatry & Neuroscience*, 26,(3), 235- 246.
22. Guevara, M. A. (1991). FILDIG: Filtro digital para señales bioeléctricas [Programa de computadora]. Instituto de Neurociencias, UdeG.
23. Guevara, M. A., Ramos, J., Hernández-González, M., Madera-Carrillo, H., & Corsi-Cabrera, M. (2000). CAPTUSEN: Un sistema para la adquisición computarizada del EEG y los potenciales relacionados a eventos. *Revista Mexicana de Psicología*, 17, 77-88.
24. Hillyard, S. A., Mangun, G. R., Woldorff, M., & Luck, S. J. (1997). Neural systems mediating selective attention. En M. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences*. Cambridge: The MIT press.
25. Hillyard, S. A., & Picton, T. W. (1987). Electrophysiology of cognition. En F. Plum (Ed.), *Handbook of physiology: The nervous system* (Vol. 5, pp. 519-584). Bethesda: American Physiological Society.
26. Jacobsen, T., & Schröger, E. (2003). Measuring duration mismatch negativity. *Clinical neurophysiology*, 114, 1133-1143.
27. Jasper, H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
28. Jemel, B., Achenbach, C., Müller, B., Röpcke, B., & Oades, R. D. (2002). Mismatch Negativity results from bilateral asymmetric dipole sources in the frontal and temporal lobes. *Brain Topography*, 15,(1), 13-27.
29. Jemel, B., Oades, R. D., Oknina, L., Achenbach, C., & Röpcke, B. (2003). Frontal and temporal lobe sources for a marker of controlled auditory attention: The negative difference (Nd) event-related potential. *Brain Topography*, 15,(4), 249-262.
30. Kandel, E. R. (2000). From nerve cells to cognition: the internal cellular representation required for perception and action. En E. R. Kandel, J. H. Schwartz, & T. M. Jessel (Eds.), *Principles of neural science (4th edition)*. New York: McGraw Hill.
31. Kasai, K., Nakagome, K., Iwanami, A., Fakuda, M., Itoh, K., Koshida, I. & Kato, N. (2002). No effect of gender on tonal and phonetic mismatch negativity in normal adults assessed by a high-resolution EEG recording. *Cognitive Brain Research*, 13, 305-312.

32. Kathmann, N., Frodl-Bauch, T., & Hegerl, U. (1999). Stability of the mismatch negativity under different stimulus and attention conditions. *Clinical Neurophysiology*, 110, 317-323.
33. Keilp, J. G., Herrera, J., Stritzke, P., & Cornblatt, B.A. (1997). The Continuous Performance Test, Identical Pairs version (CPT-IP), III: brain functioning during performance of numbers and shapes subtasks. *Psychiatry Research*, 74,(1), 35-45.
34. Kelly, J. B. (1990). Rat auditory cortex. En R. Kolb & R. C. Tees (Eds.), *The cerebral cortex of the rat*. Massachusetts: The MIT press.
35. Kelly, J. B. (1991). Hearing. En E. R. Kandel, J. H. Schwartz, & T. M. Jessel (Eds.), *Principles of neural science (3er edition)*. Norwalk: Appleton & Lange.
36. Kinomura, S., Larsson, J., Gulyás, B., & Roland, O. E. (1996). Activation by attention of the human reticular formation and thalamic intralaminar nuclei. *Science*, 271, 512-515.
37. Knight, R. T., Hillyard, S. A., Woods, D. L., & Neville, H. (1980). The effects of frontal and temporal-parietal lesions on the auditory evoked potential in man. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 50, 112-124.
38. Knight, R. T., Hillyard, S. A., Woods, D. L., & Neville, H. (1981). The effects on frontal cortex lesions on event related potentials during auditory selective attention. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 52, 571-582
39. Kujala, A. & Näätänen, R. (2003). Auditory environment and change detection as indexed by the mismatch negativity (MMN). En J. Polich (Comp.), *Detection of change: Event Related Potential and fMRI findings*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
40. MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review. *Psychological Bulletin*, 109,(2), 163-203.
41. Marocco, R. T., Witte, E. A., & Davidson, M. C. (1994). Arousal systems. *Current opinion in neurobiology*, 4, 166-170.
42. McGee, T. J., King, C., Tremblay, K., Nicol, T. G., Cunningham, J., & Graus, N. (2001). Long-term habituation of the speech-elicited mismatch negativity. *Psychophysiology*, 38, 653-658.
43. Meneses, S. (2001). Neurofisiología de la Atención: Potenciales Relacionados a Eventos. En V. Alcaraz y E. Gumá (Comp.), *Texto de Neurociencias Cognitivas* (pp. 81-109). México: Manual Moderno.
44. Moruzzi, G., & Magoun, H. W. (1949). Brain stem reticular formation and activation of the EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1, 455-473.
45. Müller, B.; Achenbach, C.; Oades, R.; Bender, S. & Schall, U. (2002). Modulation of mismatch negativity by stimulus deviance and modality of attention. *Neuroreport*. 13,(10), 1317-1320.
46. Näätänen, R. (1985). Selective attention and stimulus processing: Reflections in event-related potentials, magnetoencephalogram and regional cerebral blood flow. En M. I. Posner & O. S. M. Marin (Eds.), *Attention and performance* (pp. 355-373). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
47. Näätänen, R. (1990). The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. *Behavioral and Brain Sciences*, 13, 201-288.
48. Näätänen, R. (1991). Mismatch negativity outside strong attentional focus: a commentary on Woldorff et al. (1991). *Psychophysiology*. 28,(4), 478-484.
49. Näätänen, R. (1992). *Attention and Brain Function*. Hillsdale: L.E.A

50. Näätänen, R. (2000). Mismatch negativity (MMN): perspectives for application. *International Journal of psychophysiology*, 37, 3-10.
51. Näätänen, R., Brattico, E., & Tervaniemi, M. (2002). Mismatch Negativity: A probe to auditory perception and cognition in basic and clinical research. En A. Zani & A. Mado (Comp.), *The cognitive electrophysiology of mind and brain*. San Diego: Academic Press.
52. Näätänen, R., & Gaillard, A. W. (1983). The mismatch negativity to intensity changes in an auditory stimulus sequence. En A. W. K. Gaillard & W. Ritter (Eds.) *EEG Correlates of Information Processing: Theoretical Issues* (pp. 119-141). Amsterdam: Elsevier.
53. Näätänen, R., Gaillard, A. W., & Mantysalo, S. (1978). Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, 42, 313-329.
54. Näätänen, R., & Michie, P. T. (1979). Early selective attention effects on the evoked potential. A critical review and reinterpretation. *Biological Psychology*, 8,81-136.
55. Näätänen, R., Paavilainen, P., Tiitinen, H., Jiang, D., & Alho, K. (1993). Attention and mismatch negativity. *Psychophysiology*, 30, 436-450.
56. Näätänen, R., & Picton, T. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: A review and analysis of the component structure. *Psychophysiology*, 24,(4), 375-425.
57. Näätänen, R., Simpson, M., & Loveless, N. E. (1982). Stimulus deviance and evoked potentials. *Biological Psychology*, 14, 53-98.
58. Neisser, U. (1976). *Psicología Cognoscitiva*. México: Trillas.
59. Oades, R., & Dittmann-Balcar, A. (1995). Mismatch Negativity is altered by directing attention. *Neuroreport*, 6,(8): 1187-1190.
60. Oades, R.D., Dittmann-Balcar, A., & Zerbin, D. (1997). Development and topography of auditory event-related potentials, mismatch and processing negativity from 8 to 22 years of age. *Psychophysiology*, 34, 677-693
61. Oades, R., Dittmann-Balcar, A., Zerbin, D., & Grzella, I. (1997). Impaired attention-dependent augmentation of MMN in nonparanoid vs. paranoia schizophrenic patients: A comparison with obsessive-compulsive disorder and healthy subjects. *Biological Psychiatry*, 41, 1196-1210.
62. Paavilainen, P., Tiitinen, H., Alho, K., & Näätänen, R. (1993). Mismatch negativity to slight pitch changes outside strong attentional focus. *Biological Psychology*, 37, 23-41.
63. Pashler, H. (1998). *The Psychology of Attention*. Cambridge: The MIT Press.
64. Polo, M.D., Escera, C., Yago, E., Alho, K., Gual, A., & Grau, C. (2003). Electrophysiological evidence of abnormal activation of the cerebral network of involuntary attention in alcoholism. *Clinical Neurophysiology*, 114,(1), 134-146.
65. Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual review of neuroscience*. 13,25-42.
66. Potts, G.F., Dien, J., Hartry-Speiser, A.L., McDougal, L.M., & Tucker, D.M. (1998). Dense sensor array topography of the event-related potential to task-relevant auditory stimuli. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 106, 444-456.
67. Rinne, T., Antila, S., & Winkler, I. (2001). Mismatch negativity is unaffected by top-down predictive information. *Neuroreport*, 12,(10), 2209-2213.
68. Robbins, T. W., & Everitt, B. J. (1997). Arousal systems and attention. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences*. Cambridge: The MIT press.

69. Rosvold, H. E., Mirsky, A. F., Sarason, I., Bransome, E. D., & Beck, L. H. (1956). A continuous performance test of brain damage. *Journal of Consulting Psychology, 20*, 343-350.
70. Rugg M. D., & Coles, M. G. (1995). *Electrophysiology of mind: Event-related brain potentials and cognition*. Oxford: Oxford University Press.
71. Sams, M., Paavilainen, P., Alho, K., & Näätänen, R. (1985). Auditory frequency discrimination and event-related potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 62*, 437-448.
72. Sánchez-Turet, M., y Serra-Grabulosa, J.M. (2002). Potenciales evocados auditivos y alcohol: características del componente mismatch negativity en el alcoholismo. *Revista de Neurología, 35*,(11), 1049-1055.
73. Sato, Y., Yabe, H., Hiruma, T., Sutoh, T., Shinozaki, N., Nashida T., & Kaneko, S. (2000). The effect of deviant stimulus probability on the human mismatch process. *Neuroreport, 11*,(17), 3703-3708.
74. Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search and attention. *Psychological Review, 84*,(1), 1-66.
75. Selden, N. R., Cole, B.J., Everitt, B.J., & Robbins, T.W. (1990). Damage to ceruleo-cortical noradrenergic projections impairs locally cued but enhances spatially cued water maze acquisition. *Behavioral Brain Research, 39*, 29-51.
76. Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review, 84*,(2), 127-190.
77. Snyder, E., & Hillyard, S. A. (1976). Long-latency evoked potentials to irrelevant deviant stimuli. *Behavioral Biology, 16*, 319-331.
78. Sturm, W., & Willmes, K. (2001). On the functional neuroanatomy of intrinsic and phasic alertness. *Neuroimage, 14*, 576-584.
79. Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science, 150*,(700),1187-1188.
80. Styles, E. A. (1997). *The psychology of attention*. UK: Psychology Press.
81. Takegata, R., Paavilainen, P., Näätänen, R. & Winkler, I. (2001). Preattentive processing of spectral, temporal, and structural characteristics of acoustic regularities: A mismatch negativity study. *Psychophysiology, 38*, 92-98.
82. Todd, J., & Michie, P. T. (2000). Do perceived loudness cues contribute to duration mismatch negativity (MMN)? *Neuroreport, 11*,(17), 3771-3774.
83. Treisman, A. M. (1964). Selective attention in man. *British medical bulletin, 20*, 12-16.
84. Treisman, A. M., Kahneman, D., & Burkell, J. (1983). Perceptual objects and the cost of filtering. *Perception & Psychophysics, 33*,(6), 527-532.
85. Van Zomeren, A.H. & Brouwer, W.H. (1994). *Clinical neuropsychology of attention*. New York: Oxford University Press.
86. Woldorff, M. G., Gallen, C. C., Hampson, S., Hillyard, S. A., Pantev, C., Sobel, D., & Bloom, F. E. (1993). Modulatory of early sensory processing in human auditory cortex during auditory selective attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 90*, 8722-8726.
87. Woldorff, M.G.; Hackley, S.A., & Hillyard S.A. (1991). The effects of channel-selective attention on the mismatch negativity wave elicited by deviant tones. *Psychophysiology, 28*,(1), 30-42.
88. Woldorff, M.G.; Hillyard, S.A.; Gallen, C.; Hampson, S., & Bloom, F. (1998). Magneto-encephalography recordings demonstrate attentional modulation

- of mismatch-related neural activity in human auditory cortex. *Psychophysiology*, 35, 283-292.
89. Woods, D. L. (1995). The component structure of the N1 wave of the human auditory evoked potential. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology Supplement. Perspectives on Event-Related Potential Research*, 44, 102-109.
90. Woods, D. L., & Knight, R. T. (1986). Electrophysiologic evidence of increased distractibility after dorsolateral prefrontal lesions. *Neurology*, 36,(2), 212-216.
91. Yago, E.; Escera, C.; Alho, K., & Giard, M.H. (2001). Cerebral mechanisms underlying orienting of attention towards auditory frequency changes. *Neuroreport*. 12,(11), 2583-2587.
92. Zarabozo, D. (2002). ESVIS- Presentación de estímulos visuales y auditivos [Programa de computadora]. Instituto de Neurociencias, UdeG.